

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ  
UNIVERZITA OSTRAVA**

**Hornicko-geologická fakulta**

Institut environmentálního inženýrství

**VYHODNOCENÍ ÚČINNOSTI ODMAŠŤOVÁNÍ POVRCHŮ  
KOVŮ POMOCÍ ONLINE MĚŘENÍ POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ A  
ÚHLU SMÁČENÍ**

diplomová práce

**Autor:**

**Bc. Kristýna Králová**

**Vedoucí bakalářské práce:**

**Ing. Jan Thomas, Ph.D.**

**Ostrava 2017**

**VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA**

**Faculty of mining and geology**

Institute of environmental engineering

**EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF METAL SURFACE  
DEGREASING BY USE OF SURFACE TENSION AND CONTACT  
ANGLE ONLINE MEASUREMENT**

diploma thesis

**Author:**

**Bc. Kristýna Králová**

**Supervisor:**

**Ing. Jan Thomas, Ph.D.**

**Ostrava 2017**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Kristýna Králová**

Studijní program: N2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 2102T006 Technologie a hospodaření s vodou

Téma: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů pomocí online měření povrchového napětí a úhlu smáčení  
Evaluating the effectiveness of metal surface degreasing by use of surface tension and contact angle online measurement

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Základy povrchových vlastností materiálů a látek
3. Možnosti a metodické postupy odmašťování povrchů kovů
4. Měření povrchových vlastností na fázových rozhraních
5. Vyhodnocení experimentálních dat
6. Shrnutí výsledků
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

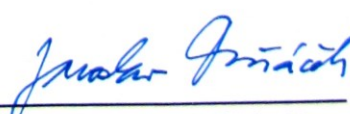
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Thomas, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017

  
doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.  
vedoucí institutu



  
prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.  
pověřený vedením fakulty

## **Prohlášení**

Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě, dne 30. Dubna 2017

Kristýna Králová

.....

### **Místopřísežné prohlášení**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě, dne 30. dubna 2017

Kristýna Králová

.....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucí práce Ing. Janu Thomasovi, Ph.D. za poskytnutí rad, informací a připomínek v průběhu zpracování této diplomové práce.

Diplomová práce prezentuje znalosti nabyté v rámci projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin - Projekt udržitelnosti. Identifikační kód: LO1406. Projekt je podporován Národním programem udržitelnosti financovaném ze státního rozpočtu ČR.

## **Anotace**

Tato práce se zabývá měřením povrchového napětí a kontaktního úhlu na přístroji Attension Theta. V teoretické části diplomové práce jsou popisovány fyzikální souvislosti s povrchovým napětím a kontaktním úhlem, jelikož pomocí těchto vlastností je možné určit, zda odmašťování povrchu kovu bylo při určitém postupu účinné či nikoliv. Důležité je, že se vychází z Youngovy rovnice, jež je aplikována i do přístroje Attension Theta. V teoretické části jsou také obsaženy metody měření povrchových vlastností na fázovém rozhraní a metodické postupy odmašťování povrchů kovů. V experimentální části jsou popisovány dvě odlišné metodiky, jež byly použity pro odmaštění tří různých kovových povrchů, následné vyhodnocení dat a grafické znázornění výsledků.

**Klíčová slova:** Povrchové napětí, kontaktní úhel, smáčivost, Attension Theta, odmašťování, nerezová ocel, ocel, hliník, vosk, voda, kapková metoda.

## **Summary**

This diploma thesis is based on surface tension or contact angle measurement through measuring device - Attension Theta. In the theoretical part of this diploma thesis there are described physical connections with surface tension and contact angle. Because of these physical properties it is possible to determine if degreasing was successful or not. Basically the whole measurement is based on Young's equation which is applied in the measuring device Attension Theta. There are also mentioned other measuring methods of surface properties on the phase interfaces and some procedures how to remove grease from the metal surfaces. In the practical part there is described two different methods which was used for degreasing of three different metal surfaces, consecutive data assessment and graphic representation of results.

**Key words:** Surface tension, contact angle, wettability, Attension Theta, degreasing, stainless steel, steel, aluminium, wax, water, sessile drop method.

## Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Základy povrchových vlastností materiálů a látek.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Měření povrchových vlastností na fázových rozhraních .....</b>	<b>11</b>
3.1 Metody přímé .....	11
3.1.1 Měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce .....	11
3.1.2 Měření založené na sledování tvaru kapek a bublin .....	13
3.2 Metody nepřímé.....	14
3.2.1 Měření kapilární elevace na svislé destičce.....	15
3.2.2 Wilhelmyho metoda vyvažování destičky .....	16
3.2.3 Metoda ADSA.....	18
<b>4. Možnosti a metodické postupy odmašťování povrchů kovů.....</b>	<b>21</b>
4.1 Druhy odmašťovacích procesů .....	22
4.1.1 Odmašťování v alkalických roztocích.....	22
4.1.2 Odmašťování v organických rozpouštědlech.....	24
4.1.3 Elektrolytické odmašťování .....	25
4.1.4 Odmašťování v neutrálních roztocích .....	26
4.1.5 Odmašťování v emulzních roztocích .....	27
4.1.6 Odmašťování opalováním .....	27
4.1.7 Vysokotlaké kapalinné odmašťování .....	27
4.1.8 Ostatní procesy odmašťování.....	28
<b>5. Vyhodnocení experimentálních dat .....</b>	<b>30</b>
5.1 Attension Theta .....	30
5.2. Použité materiály.....	31
5.2.1 Nerezový plíšek .....	31
5.2.2 Ocelový plíšek .....	32
5.2.3 Hliníkový plíšek .....	32



5.3 Použité odmašťovací prostředky a jejich metody .....	33
5.3.1 LOS 1100 .....	33
5.3.2 Roztok jaru .....	34
5.4 Použité médium.....	35
5.4.1 Vosk .....	35
5.4.2 Destilovaná voda .....	36
5.5 Postup měření .....	36
5.6 Vyhodnocení experimentálních dat.....	38
5.6.1 Nerezový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě vody 22 °C.....	38
5.6.2 Nerezový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě vody 5 °C.....	39
5.6.3 Ocelový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě 22 °C .....	40
5.6.4 Ocelový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě 5 °C .....	42
5.6.5 Hliníkový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě 22 °C .....	44
5.6.6 Hliníkový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě 5 °C .....	46
5.6.7 Nerezový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 22 °C .....	47
5.6.8 Nerezový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 5 °C .....	48
5.6.9 Ocelový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 22 °C .....	50
5.6.10 Ocelový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 5 °C .....	51
5.6.11 Hliníkový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 22 °C .....	52
5.6.12 Hliníkový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 5 °C .....	53
5.6.13 Nerezový plíšek v porovnání s použitými odmašťovacími metodami.....	55
5.6.14 Ocelový plíšek v porovnání s použitými odmašťovacími metodami .....	56
5.6.15 Hliníkový plíšek v porovnání s použitými odmašťovacími metodami .....	57
<b>6. Shrnutí výsledků .....</b>	<b>60</b>
<b>7. Závěr .....</b>	<b>62</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>64</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>72</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>73</b>

<b>Seznam grafů .....</b>	<b>74</b>
PŘÍLOHA 1 .....	i
PŘÍLOHA 2 .....	ii
PŘÍLOHA 3 .....	iii
PŘÍLOHA 4 .....	iv
PŘÍLOHA 5 .....	v
PŘÍLOHA 6 .....	vi
PŘÍLOHA 7 .....	vii
PŘÍLOHA 8 .....	viii
PŘÍLOHA 9 .....	ix
PŘÍLOHA 10 .....	x
PŘÍLOHA 11 .....	xi
PŘÍLOHA 12 .....	xii
PŘÍLOHA 13 .....	xiii
PŘÍLOHA 14 .....	xiv
PŘÍLOHA 15 .....	xv

## Seznam použitých zkratk a symbolů

### Seznam zkratk:

ADSA	axisymmetric drop shape analysis (axisymetrická analýza profilu kapky)
TIFA	theoretical image fitting analysis (analýza teoretického obrazu)

### Seznam symbolů a veličin:

$\beta$	$[10^{-6}\text{K}]$	teplotní součinitel roztažnosti
$\gamma, \sigma$	$[\text{N.m}^{-1}]$	povrchové napětí, povrchová energie
$\gamma_{lg}$	$[\text{N.m}^{-1}]$	povrchová energie kapaliny
$\gamma_{ls}$	$[\text{N.m}^{-1}]$	mezifázová energie pevná látka-kapalina
$\gamma_{sg}$	$[\text{N.m}^{-1}]$	povrchová energie pevné látky
$\eta$	$[\%]$	účinnost
$\theta$	$[\circ]$	úhel smáčení, kontaktní úhel
$\theta_{\max}$	$[\circ]$	zvyšující se úhel smáčení
$\theta_{\min}$	$[\circ]$	snižující se úhel smáčení
$\bar{\theta}$	$[\circ], [\mu\text{l}]$	aritmetický průměr
$\lambda$	$[\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti
$\rho$	$[\text{kg.m}^{-3}]$	hustota
$A_{ls}$	$[\text{m}^2]$	plocha fázového rozhraní pevná látka-kapalina

$A_{sg}$	$[m^2]$	plocha fázového rozhraní pevná látka-plyn
$A_{lg}$	$[m^2]$	plocha fázového rozhraní kapalina-plyn
$c$	$[kJ.kg^{-1}.K^{-1}]$	měrná tepelná kapacita
$d_e, d_s, d_{min}$	$[m]$	průměr kapky
$F$	$[N]$	smáčecí síla
$g$	$[m.s^{-2}]$	gravitační zrychlení
$G$	$[J]$	Gibbsova energie, volná entalpie
$G_{lg}$	$[J]$	Gibbsova energie na rozhraní kapalina-plyn
$G_{ls}$	$[J]$	Gibbsova energie na rozhraní pevná látka-kapalina
$G_{sg}$	$[J]$	Gibbsova energie na rozhraní pevná látka-plyn
$h$	$[m]$	výška
$H$	$[J]$	entalpie
$KÚ [L]$	$[^{\circ}]$	levá strana kontaktního úhlu
$KÚ [M]$	$[^{\circ}]$	střední hodnota kontaktního úhlu, medián
$KÚ [P]$	$[^{\circ}]$	pravá strana kontaktního úhlu
$L$	$[m]$	obvod, délka
$m$	$[kg]$	hmotnost
$R$	$[m]$	poloměr křivosti
$r_b$	$[m]$	poloměr kapky v místě styku s pevnou fází

$s$	$[^{\circ}], [\mu\text{l}]$	směrodatná odchylka
$S$	$[\text{J.K}^{-1}]$	entropie
$S_{\text{l/s}}$	$[\text{J}]$	Harkinsův rozestírací koeficient
$T$	$[^{\circ}\text{C}]$	teplota
$V$	$[\text{m}^3]$	objem
$\text{Vol}$	$[\mu\text{l}]$	objem
$W_{\text{a}}$	$[\text{J}]$	adhezní práce
$W_{\text{k}}$	$[\text{J}]$	kohezní práce
$x_{\text{A}}, y_{\text{A}}, z_{\text{A}}$	$[\text{m}]$	souřadnice bodů profilu kapky

## 1. Úvod

Odmašťování kovů je důležitým procesem v různých průmyslových aplikacích. Ať už je to předúprava před nátěrem, lakováním, lepením, pájením v elektronice atd., vždy je důležité se zbavit všech nečistot nacházejících se na kovovém povrchu a to především mastnot, které mohou jakkoliv ovlivnit výsledný efekt nátěru či laku. K tomu se využívají speciální odmašťovací přípravky. Ty mohou být různého chemického složení. Především jsou to látky, které by neměly být toxické vůči životnímu prostředí a neměly by obsahovat látky narušující materiál kovu, který je odmašťován.

K tomu, aby bylo zjištěno, zda odmašťování bylo účinné a v jaké míře, se volí vhodné metody určování. Děje se to především pomocí přímých či nepřímých metod určování úhlu smáčení, protože úhel smáčení úzce souvisí se zjišťováním smáčivosti či nesmáčivosti povrchu. A jelikož je smáčivost ovlivňována nečistotami, mastnotou, úhel smáčení se v závislosti na míře nečistot následně zvyšuje nebo snižuje.

V našem případě bylo využito online měření pomocí tenziometru Attension Theta. Tento přístroj nabízí velmi přesné měření úhlu smáčení a povrchového napětí.

Při experimentu byly zkoumány 3 různé typy kovových plíšků – nerezová ocel, ocel a hliník. Na povrch byla nanášena vrstva vosku, jenž byla následně odmaštěna pomocí dvou různých odmašťovacích přípravků – roztok jaru a průmyslový čistič LOS 1100. Při určování úhlu smáčení byla využita destilovaná voda o různé teplotě – 5 ° a 22 °C. A jako ověřovací metoda pro vyhodnocení procesu odmašťování byla pro jistotu zvolena i metoda hmotnostní.

## 2. Základy povrchových vlastností materiálů a látek

Jednou z nejdůležitějších povrchových vlastností je povrchové napětí. Povrchové napětí je tečná síla, která působí ve směru povrchu na úsečku jednotlivé délky tak, že při zvětšování rozhraní klade odpor. Lze také říci, že je to efekt, při kterém je povrch kapaliny tvořen jakousi blánou. Blánou se myslí povrchová vrstva molekul vody či jiné kapaliny. Na tuto povrchovou vrstvu molekul působí vnitřní molekuly vody takovým způsobem, že je přitahují povrchovou silou dovnitř kapaliny, čímž se povrch kapaliny smršťuje a vzniká napětí, tzv. povrchové napětí. Napětí mezi těmito molekulami vody je dáno jejich přitažlivými silami – kohezními silami. Je vhodné připomenout, že mezi těmito molekulami existují i odpuzivé síly, které udržují rovnovážný odstup molekul mezi sebou. Vlivem povrchového napětí se kapalina formuje do tvaru koule, jelikož koule má nejmenší povrch vzhledem k jeho objemu. Účinkem tíhové síly nebo síly odstředivé se ovšem tyto kulovité tvary kapalin deformují [1, 2, 3].

Povrchové napětí se značí jako  $\sigma$  (koeficient povrchového napětí) popřípadě jako  $\gamma$  a je udáváno v jednotkách  $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ . Měří se metodou kroužkovou, žehlicí, metodou kapilární elevace nebo tenziometrem. Lze jej vyjádřit jako podíl velikosti povrchové síly a délky okraje povrchové blány, na něž povrchová síla působí vzhledem k povrchu kapaliny. Dále ji lze definovat v jednotkách  $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$  jako podíl povrchové energie na plochu volného povrchu kapaliny. Povrchová energie je rozdíl potenciální energie molekul povrchové vrstvy a molekul uvnitř kapaliny [1].

Povrchové napětí je ovlivněno druhem kapaliny, teplotou a tlakem. Se zvyšující se teplotou povrchové napětí klesá. Na povrchové napětí má vliv také použití smáčedel, ty jej snižují [1, 2, 4, 5, 6].

Pokud se kapalina setká s jinou objemovou fází, tvoří se mezi nimi tzv. fázové rozhraní. Jestliže se přechází z jedné fáze do druhé, pak se vlastnosti mění skokem. Podle všeho má fázové rozhraní určitou tloušťku, což značí, že i určitý objem. Fázové rozhraní se liší podle skupenského stavu dané fáze [1].

Mezi nejzákladnější fázová rozhraní patří [1]:

- pevná látka – vakuum
- pevná látka – plyn
- pevná látka - kapalina
- pevná látka – pevná látka
- kapalina – vakuum
- kapalina – plyn
- kapalina – kapalina

V našem případě se ale vyskytují 3 fáze, 3 fázová rozhraní. Ve vztahu pevné fáze – kapaliny – plynu. V tomto vztahu, tedy při dotyku kapaliny s povrchem nerozpustné pevné látky v kontaktu se vzduchem, se vyskytují tři mezifázové energie. Těmito mezifázovými energiemi jsou povrchová energie pevné látky  $\gamma_{sg}$ , mezifázová energie pevné látky – kapaliny  $\gamma_{ls}$  a povrchová energie kapaliny  $\gamma_{lg}$ . Absolutní hodnoty těchto mezifázových energií mají vliv na výsledné uspořádání systému, tedy na chování kapky na povrchu nerozpustné tuhé látky [1, 7].

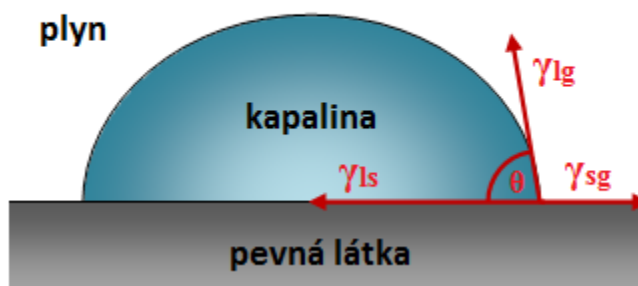
Existují 2 základní děje, jak se kapka kapaliny při styku s povrchem pevné látky zachová. Buď se kapalina na povrchu rozestírá, anebo zaujímá tvar kapky. Tyto děje se nazývají smáčení, popřípadě rozestírání (nesmáčení). Při posuzování smáčivosti či rozestírání je důležitý úhel smáčení neboli kontaktní úhel  $\theta$ . Je to místo, ve kterém se stýká pevná látka, plyn a kapalina současně. Podle úhlu smáčení je určen tvar kapky [1, 7, 8].

Vztah mezi úhlem smáčení a mezifázovými energiemi je vyjádřen pomocí Youngovy rovnice [1]:

$$\gamma_{sg} - \gamma_{ls} = \gamma_{lg} \cos \theta \quad (1)$$

V Youngově rovnici je zanedbán vliv gravitace a Laplaceův tlak vzhledem k velikosti kapky [1].





Obrázek 1 - Znázornění mezifázových energií a kontaktního úhlu; Zdroj: Vlastní

Obrázek 1 přímo znázorňuje spojitost úhlu smáčení s mezifázovými energiemi a je určitou pomůckou pro pochopení Youngovy rovnice.

S Youngovou rovnicí také souvisí Gibbsova energie, kdy celková změna této energie  $dG$  je vyjádřena jako součet změn Gibbsovy energie na rozhraní kapaliny-pevné látky  $dG_{ls}$ , pevné látky-plynu  $dG_{sg}$  a kapaliny-plynné látky  $dG_{lg}$ . Tedy [1]:

$$dG = dG_{ls} + dG_{sg} + dG_{lg} \quad (2)$$

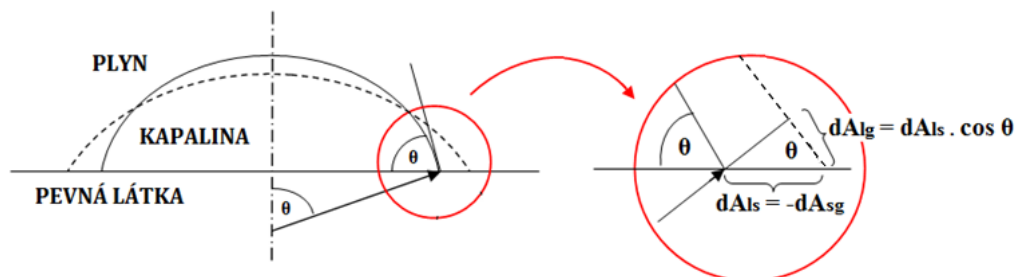
Tuto rovnici lze také vyjádřit pomocí mezifázových energií a změny ploch fázových rozhraní jednotlivých fází [1]:

$$dG = \gamma_{ls} \cdot dA_{ls} + \gamma_{sg} \cdot dA_{sg} + \gamma_{lg} \cdot dA_{lg} \quad (3)$$

A jelikož zvětšení plochy fázového rozhraní mezi kapalnou a pevnou fází  $dA_{ls}$  vede k zmenšení styčné plochy mezi fází pevnou a plynnou  $dA_{sg}$  (viz obrázek 2), lze vyjádřit předchozí vztah takto [1]:

$$dG = \gamma_{ls} \cdot dA_{ls} + \gamma_{sg} \cdot (-dA_{ls}) + \gamma_{lg} \cdot dA_{ls} \cdot \cos \theta \quad (4)$$

Podmínkou je, že  $dA_{ls}$  nesmí být rovno nule. Pak je možné rovnici vydělit tímto členem. A pokud je  $dG/dA_{ls}$  v rovnováze, čili je rovno nule, pak výsledkem je přímo Youngova rovnice [1].



Obrázek 2 - Znázornění výpočtu změny plochy fázového rozhraní pevné látky - plynu a změny plochy fázového rozhraní kapaliny – plynu v případě kapky kapaliny na rovném pevném povrchu; Zdroj: Vlastní

Na obrázku 2 je patrný postup vyjádření změny plochy fázového rozhraní pevné látky – plynu  $dA_{sg}$ . Tento vztah je uveden i v rovnici (4), stejně tak jako vztah, ve kterém je vyjádřena změna plochy fázového rozhraní kapaliny – plynu  $dA_{lg}$ .

Gibbsova energie  $G$  je nazývána také jako volná entalpie. Její změna je definována vztahem [9]:

$$dG = dH - TdS \quad (5)$$

$dH$  v tomto případě entalpii,  $T$  termodynamickou teplotu,  $dS$  značí entropii. Volná entalpie je uvažována při reakci, při které se teplo spotřebovává nebo uvolňuje za stálého tlaku a stálé teploty. Především při přechodu systému z původního do jiného stavu [9].

Pro povrchové napětí je tak možno psát [10]:

$$\gamma = dG/dS \quad (6)$$

Existují 4 případy, které mohou nastat při dopadu kapky kapaliny na povrch pevné látky. Buď nastane dokonalé smáčení, dobré smáčení, špatné smáčení nebo dokonalé nesmáčení. Pokud se kapka kapaliny na hladkém povrchu pevné látky rozprostře do souvislé vrstvy, pak to znamená, že síly jsou v rovnováze a jedná se o tzv. dokonalé smáčení. Dokonalé smáčení se děje pokud úhel smáčení je  $0^\circ$ . Jestliže je povrchová energie pevné látky větší než mezifázová energie pevné látky-kapaliny, pak nastává dobré smáčení, kdy úhel smáčení je větší než  $0^\circ$ , ale zároveň menší než  $90^\circ$ . Pokud je ovšem kontaktní úhel větší než  $90^\circ$  a zároveň menší než  $180^\circ$ , pak se jedná o špatné smáčení. Dokonalým nesmáčením je označováno smáčení, jehož kontaktní úhel je roven  $180^\circ$ . Lze tedy říci, že s větším kontaktním úhlem, roste nesmáčivost povrchu vůči dané kapalině. Při procesu smáčení se uvolňuje všechna mezifázová energie a to ve formě tepla, zvaného jako smáčecí teplo. Povrchy, které se snadno smáčí kapalinou, jsou označovány za lyofilní. Povrchy, které se špatně smáčí, jsou nazvány jako lyofobní. Názorně je shrnuta podstata smáčení dle vztahu mezifázových energií a dle kontaktního úhlu v tabulce 1 [1, 7, 8, 11, 12, 13].

$\gamma_{sg} = \gamma_{ls} + \gamma_{lg}$		$\theta = 0^\circ$	<b>dokonalé smáčení</b>	
$\gamma_{sg} < \gamma_{ls} + \gamma_{lg}$	$\gamma_{sg} > \gamma_{ls}$	$0^\circ < \theta < 90^\circ$	<b>dobré smáčení</b>	
	$\gamma_{sg} < \gamma_{ls}$	$90^\circ < \theta < 180^\circ$	<b>špatné smáčení</b>	
$\gamma_{sg} < \gamma_{ls} - \gamma_{lg}$		$\theta = 180^\circ$	<b>dokonalé nesmáčení</b>	

Tabulka 1 - Rozdělení smáčení; Zdroj: Vlastní

Smáčivost je ovlivňována velkým povrchovým napětím, které proces smáčení ztěžuje, a také je ovlivňována adhezními, kohezními silami a drsností či nehomogenitou povrchu. Objevuje se zde i otázka elektrokinetického potenciálu, který silně ovlivňuje smáčivost povrchu [3, 14].

Kohezní síly, jak již bylo zmíněno na začátku této kapitoly, jsou mezimolekulární přitažlivé síly, které dávají vznik povrchovému napětí kapaliny. Jedná se o interakci mezi molekulami vody stejné fáze. Naproti tomu adhezní síly jsou mezimolekulární síly, jejichž vlivem dochází k interakci mezi molekulami vody s molekulami jiných fází např. interakce molekul vody s molekulami pevné fáze viz obrázek 3. Adhezní síla má snahu zvětšovat plochu rozhraní mezi těmito dvěma fázemi. Při smáčení dochází k tomu, že si tyto dvě síly konkurují. Každá z nich totiž koná určitou práci [1, 15, 16].

Pro kohezní práci  $W_k$  je dán vztah [1]:

$$W_k = 2\gamma_{lg} \quad (7)$$

Kohezní práce je tedy úměrná dvojnásobné povrchové energii rozestírané kapaliny  $\gamma_{lg}$ . „Práce potřebná k roztržení sloupce kapaliny o jednotkovém průřezu, tedy pro vytvoření dvou nových rovnovážných rozhraní s plynnou fází [1].“

Adhezní práce  $W_a$  je definována vztahem [1]:

$$W_a = \gamma_{sg} + \gamma_{lg} - \gamma_{ls} \quad (8)$$

Adhezní práce je odečtení mezifázové energie kapaliny-pevné látky  $\gamma_{ls}$  od součtu povrchových energií pevné látky  $\gamma_{sg}$  a rozestírané kapaliny  $\gamma_{lg}$ . „Práce potřebná k odtržení sloupce kapaliny o jednotkovém průřezu od povrchu pevné látky [1].“

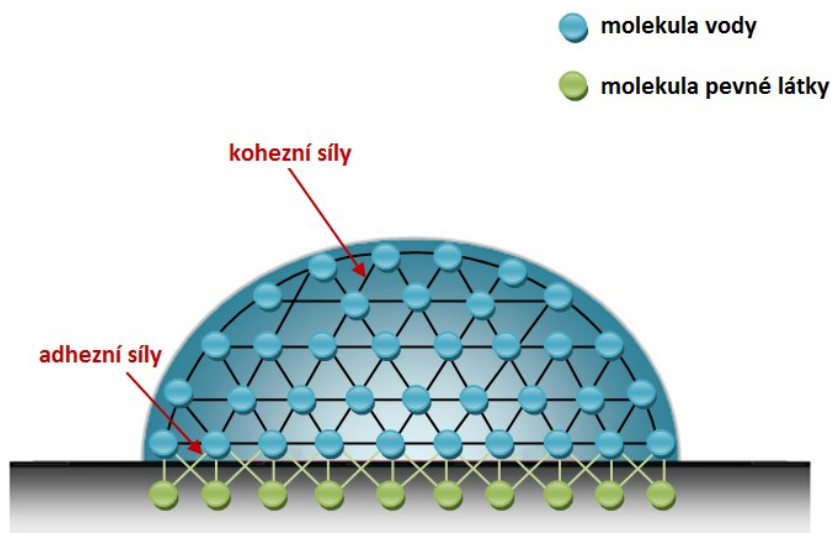
Jak již bylo zmíněno, kohezní a adhezní síly si konkurují, tudíž mezi nimi existuje určitý vztah, který může být nazván také jako Harkinsův rozestírací koeficient  $S_{l/s}$ . Harkinsův rozestírací koeficient je dán rovnicí [1]:

$$S_{l/s} = W_a - W_k \quad (9)$$

Z rovnice (7) je patrné, že Harkinsův rozestírací koeficient je rozdílem mezi adhezní a kohezní prací. Jsou-li do této rovnice dosazeny vztahy z rovnice (5) a (6), pak je Harkinsův rozestírací koeficient vyjádřen takto [1]:

$$S_{l/s} = \gamma_{sg} - \gamma_{lg} - \gamma_{ls} \quad (10)$$

Jestliže je výsledný koeficient větší než 0 (koeficient je kladný), znamená to, že kapalina na povrchu pevné fáze utvoří souvislou vrstvu, rozestře se po povrchu. Při smáčení, kdy nedochází k úplnému rozestření kapaliny na povrchu pevné fáze, je hodnota rozestíracího koeficientu záporná. Proto je Harkinsův rozestírací koeficient označován jako záporná hodnota změny Gibsonovy energie. Lze tedy říci, že se snižujícím se záporným koeficientem  $S_{l/s}$  se zvětšuje plocha rozhraní mezi pevnou fází a kapalinou. Čili převažují síly adhezní nad kohezními [1, 17].



Obrázek 3 - Znázornění kohezních a adhezních sil, Zdroj: Vlastní

Nejen kohezní a adhezní síly ovlivňují smáčivost povrchu, ale také drsnost hraje důležitou roli při procesu smáčení. V Youngově rovnici (1) se uvažuje o ideálně hladkém

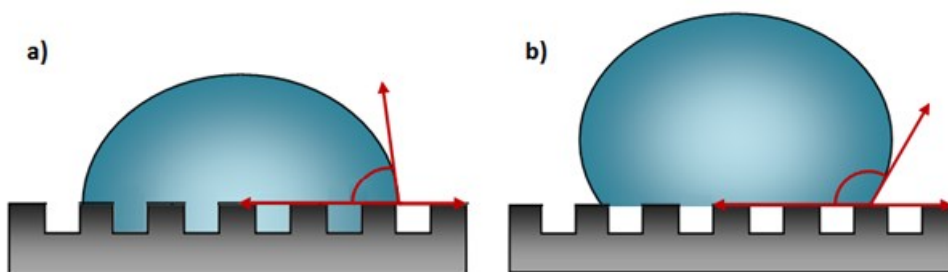
Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou povrchu pevné látky. Ve skutečnosti i na pohled zcela dokonalé hladké povrchy obsahují drobné rýhy nebo trhliny. Byly sepsány dvě základní teorie popisující vliv drsnosti na smáčivost povrchu [1, 18]:

a) Wenzelova teorie

Wenzelova teorie popisuje rýhu jako místo, které je zcela vyplněno kapalinou. Drsný povrch má za následek snížení smáčivosti u lyofobních povrchů, čili má schopnost zvyšovat kontaktní úhel větší než  $90^\circ$ . Zatímco u lyofilních povrchů má vliv opačný. Smáčivost se u lyofilních povrchů vlivem drsného povrchu zvyšuje, tedy snižuje se kontaktní úhel menší než  $90^\circ$ . Z toho plyne, že drsnost umocňuje vlastnosti lyofilního nebo lyofobního povrchu [18, 19, 20, 21].

b) Cassieho teorie

Cassieho teorie je založena na představě, že rýha je místo, které je vyplněno vzduchem. Takže kapalina nevyplňuje prostory rýhy, ale částečně leží na povrchu pevné fáze a povrchu plynné fáze. Důsledkem toho dochází ke snížení plochy rozhraní mezi kapalinou a povrchem, tedy zhoršení smáčivosti povrchu. Kontaktní úhel se v každém případě zvyšuje. Proto je Cassieho teorie aplikována jen na lyofobní povrchy [18, 20].



Obrázek 4 - Wenzelova a Cassieho teorie; Zdroj: Vlastní

Obě tyto teorie jsou znázorněny pro porovnání na obrázku 4. Je zde vykreslen za a) drsný povrch s rýhami vyplněnými kapalinou (Wenzelova teorie) a za b) drsný povrch s rýhami vyplněnými vzduchem (Cassieho teorie).

Na obrázku 4 jsou vyobrazeny ideální rýhy stejných rozměrů, ve skutečnosti jsou drážky drsného povrchu variabilní a úhel smáčení je tak ovlivněn rozdílnou výškou rýh. Povětšinou je kapka kapaliny zastavena na ostrém okraji dané rýhy (změna povrchového sklonu), je to dáno tím, že na ostrém okraji je povrchové napětí největší [22].

Jelikož se k ovlivnění smáčivosti využívají různé odmašťovací přípravky, pak za zmínku stojí také elektrokinetický potenciál neboli Zeta-potenciál. Ten je příčinou elektrokinetických jevů v disperzních systémech. Při těchto elektrokinetických jevech se mění povrchový náboj částic a to buď kladně, anebo záporně. Závisí zde na velikosti Zeta-potenciálu, protože pokud má elektrokinetický potenciál vyšší hodnotu (vyšší než 30 mV), pak dochází k odpuzování částic média (vody), což značí méně smáčivý povrch určitého materiálu. A pokud je Zeta-potenciál nižší, pak se částice přitahují navzájem (částice odmašťovadla a částice vody). Takže tím, že se mění povrchový náboj částic, se následně mění i smáčivost povrchu [23].

### **3. Měření povrchových vlastností na fázových rozhraních**

Jedna z mála povrchových vlastností na fázovém rozhraní, která se dá změřit, je kontaktní úhel neboli úhel smáčení. Díky úhlu smáčení lze poté zjistit popřípadě vypočítat povrchové nebo mezifázové napětí. Jsou známy i další vlastnosti, které vedou k určení povrchového napětí, každopádně úhel smáčení je jedním z nejdůležitějších. Metody, kterými je možno úhel smáčení změřit, jsou rozděleny na metody přímé a nepřímé. Určité zdroje uvádějí i metody statické, semistatické a dynamické [1, 24].

#### **3.1 Metody přímé**

Metody přímé jsou nazvány také jako metody goniometrické. Spočívají v přímé detekci kontaktního úhlu a to především pomocí mikroskopů s goniometrickou soustavou čoček [25].

V následujících podkapitolách jsou zmíněny 2 metody přímého měření. Měření na naklánějící se destičce a měření založené na sledování tvaru kapek a bublin.

##### **3.1.1 Měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce**

Metoda měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce je jedna z nejstarších a nejjednodušších metod [26].

Při této metodě dochází k ponoření destičky zkoumaného materiálu do kapaliny a následně k naklánění této destičky do polohy, ve které dochází k vyrovnání povrchu kapaliny na jedné straně destičky, tedy do polohy, ve které dochází ke styku této strany destičky s kapalinou (viz obrázek 5). Tehdy totiž hladina kapaliny svírá měřitelný kontaktní úhel s destičkou. Povrchy kapaliny a zkoumané destičky by měly být v průběhu



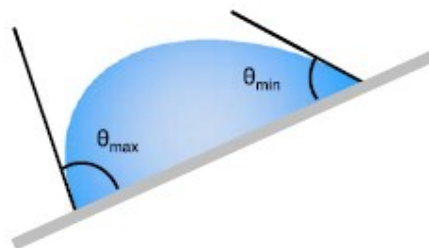
Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou měření čisté, neměly by obsahovat jakékoliv znečištění, které by mohlo jejich výsledný kontaktní úhel narušit [26].

Měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce je vhodnou metodou pro zjišťování úhlů menších než  $10^\circ$ . Jedinou nevýhodou této metody je, že měření podléhá tzv. hysterezi úhlů smáčení, kdy se jedná o rozdílnost kontaktních úhlů kapaliny na pevném povrchu. Čili naměřený kontaktní úhel má hodnotu, která leží mezi postupujícím a ustupujícím kontaktním úhlem kapaliny [26].



Obrázek 5 - Ukázka měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce [24]

Určité zdroje popisují metodu měření úhlu smáčení na naklánějící se destičce poněkud jinak. Kapka určité tekutiny je kápnuta na povrch zkoumané destičky, která je nakláněna od  $0^\circ$  do  $90^\circ$ . Ukázka měření je znázorněna na obrázku 6. Přisedlá kapka je při naklánění destičky vystavena gravitační síle, to způsobuje, že úhel smáčení na jedné straně se zvyšuje  $\theta_{max}$  a na druhé snižuje  $\theta_{min}$ . Rozdíl mezi nimi je nazýván kontaktní úhel hystereze. Kontaktní úhel hystereze je víceméně průměrem úhlu postupujícího a ustupujícího. Za kontaktní úhel postupující a ustupující je považován ten, jehož hodnota je zaznamenána před sklouznutím kapky ze zkoumaného povrchu pryč [13, 27].

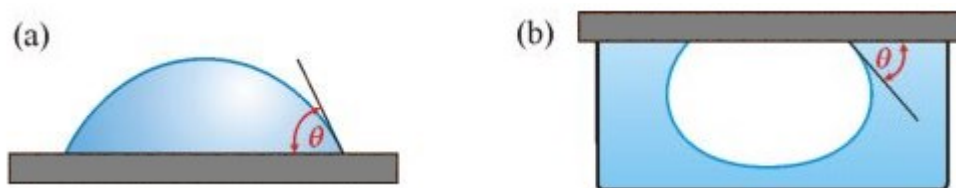


Obrázek 6 - Ukázka dalšího způsobu měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce [27]

### 3.1.2 Měření založené na sledování tvaru kapek a bublin

Při měření založeném na sledování tvaru kapek a bublin se jedná o porovnání skutečného profilu kapky s teoretickým profilem, jež byl získán z obecného tvaru Laplaceovy rovnice [1].

U tohoto typu měření je využívána přisedlá či visící kapka popřípadě bublina (viz obrázek 7).

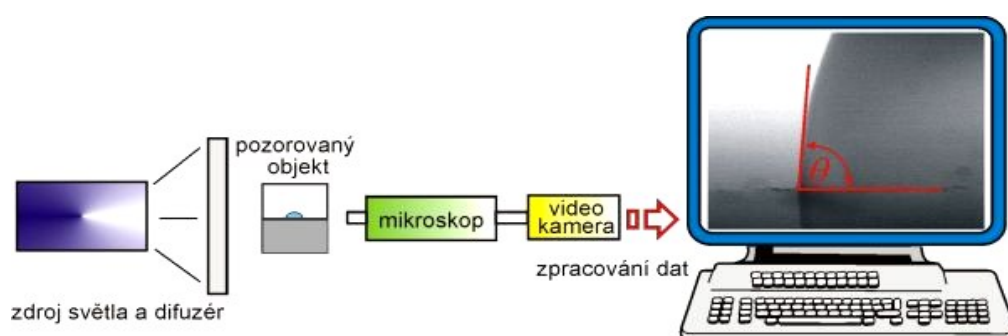


Obrázek 7 - Ukázka měření a) přisedlé kapky na pevném povrchu a b) přilínající bubliny na pevném povrchu v kapalině [26]

Principem této metody je sledování kapky mikroskopem obsahující goniometrický okulár. Tímto způsobem lze přímo odečíst kontaktní úhel. Úhel lze také vyhodnotit z fotografie kapky. Přesnost metody není nijak vysoká, ale zvyšuje se přidáním snímání

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou kapky videokamerou a následným zpracováním obrazu počítačem. Uvádí se přesnost až na  $1^\circ$ . Každopádně i přesto je přesnost měření závislá na člověku, který experiment provádí. Postup přenosu obrazu kapky do počítače je znázorněn na obrázku 8 [1, 26].

Tímto měřením lze stanovit velmi nízké či naopak velmi vysoké hodnoty úhlů smáčení. Pokus je možno provádět i za zvýšeného tlaku či zvýšené teploty. I tomuto měření není vzdálený pojem hystereze, tudíž pro lepší charakteristiku zkoumaného povrchu materiálu je vhodné použít průměrnou hodnotu postupujícího a ustupujícího úhlu smáčení [1, 8, 26].



Obrázek 8 - Schéma metody pro měření kontaktního úhlu přisedlé kapky pomocí počítače [24]

### 3.2 Metody nepřímé

Metody nepřímé jsou nazvány také jako metody tenziometrické. U těchto metod se neměří kontaktní úhel, ale jiná veličina popřípadě vlastnost, která je následně převedena na hodnotu kontaktního úhlu. Tudíž se jedná o nepřímé měření kontaktního úhlu [25].

V následujících podkapitolách jsou zmíněny 3 metody nepřímého měření kontaktního úhlu. Měření kapilární elevace, Wilhelmyho metoda vyvažování destičky a metoda ADSA.

### 3.2.1 Měření kapilární elevace na svislé destičce

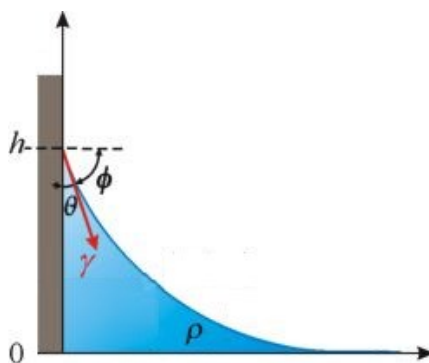
Tento typ měření spadá pod statické metody. Při měření kapilární elevace je měřena výška vzestupu kapaliny na svislé destičce, která je ponořena do kapaliny [1, 28, 29].

Pokud je určen kontaktní úhel nebo je kontaktní úhel nulový, lze metodu použít i pro zjištění hodnoty povrchového či mezifázového napětí. Děje se to i naopak, kdy z hodnoty povrchového nebo mezifázového napětí je možno vypočíst hodnotu úhlu smáčení [28].

Při výpočtu kontaktního úhlu se vychází z Laplaceovy-Youngovy rovnice. Následný vztah pro získání kontaktního úhlu  $\theta$  je formulován takto [28].:

$$\sin \theta = 1 - \frac{\rho \cdot g \cdot h^2}{2 \gamma} \quad (11)$$

V tomto vztahu je zohledněna hustota kapaliny  $\rho$  (hustota plynné fáze se zanedbává), gravitační zrychlení  $g$ , výška oblouku na hladině kapaliny při styku se svislou destičkou  $h$  a také je zohledněno povrchové nebo mezifázové napětí  $\gamma$ . K lepší představě slouží obrázek 9 [28, 29].



Obrázek 9 - Měření výšky vzestupu kapaliny na svislé destičce jako pomocná metoda při získávání kontaktního úhlu [28]

Při výskytu kapilárních jevů je u dobře smáčejších povrchů vytvořen dutý vrchlík – kapilární elevace. Pokud by povrch pevné látky byl špatně smáčen, pak by byl na jeho stěně vytvořen vypouklý vrchlík – kapilární deprese. Příklad, který je znázorněn na obrázku se nazývá kapilární elevace [30].

Přesnost metody kapilární elevace je závislá na přesném určení výšky menisku. K tomuto účelu je používán katetometr, který přesnost určení výšky zajišťuje s odchylkou  $\pm 0,003$  mm [28].

### 3.2.2 Wilhelmyho metoda vyvažování destičky

Wilhelmyho metoda je metodou statickou. Touto metodou je měřena potřebná síla k vyvážení svislé destičky, která je vnořena do kapaliny [1].

Do skleněné nádoby s kapalinou je vnořena zkoumaná destička, která je zavěšena na vahadlu velmi přesné váhy. Kontaktní úhel, který lze určit, je buď postupující anebo ustupující. Je možnost jeho určení pouze v případě, jestliže je známo povrchové či mezifázové napětí. Pro každý z nich existuje jiná metodika měření. Je možnost i jejich kombinovaného měření [31].

Při určení postupujícího úhlu smáčení je destička umístěna do takové polohy, aby došlo ke styku hladiny kapaliny se spodním okrajem destičky. Styk kapaliny s destičkou je zaznamenán silným nárůstem hmotnosti. Zjištěná změna síly na váze je kombinací vztlakové a síly smáčení. Smáčecí síla je poté vyjádřena vztahem [25, 27, 29, 31]:

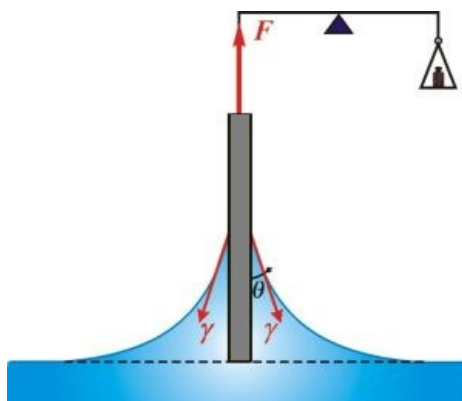
$$F = \Delta mg = L \cdot \gamma \cdot \cos \theta \quad (12)$$

V daném vztahu je vyjádřena změna hmotnosti  $\Delta m$ , gravitační zrychlení  $g$ , popřípadě obvod destičky  $L$ , povrchové napětí kapaliny  $\gamma$  a kontaktní úhel  $\theta$ . Tímto vztahem lze vypočítat kontaktní úhel a to dosazením do vzorce při známé hodnotě povrchového napětí kapaliny [25, 31].

Při určení ustupujícího úhlu smáčení je zkoumaná destička ponořena do určité hloubky v kapalině a následně je vyzdvižena do polohy, ve které opět dojde ke značné změně hmotnosti, jež je zaznamenávána vahami. Zaznamenaná síla je vyjádřena vztahem [31]:

$$F = L \cdot \gamma \cdot \cos \theta - V \cdot \Delta \rho \cdot g \quad (13)$$

Ve výpočtu je také nutno zohlednit objem kapaliny, jenž je vytlačen ponořením zkoumané destičky do nádoby s kapalinou. Výsledný vzorec tak vzniká odečtením součinu objemu kapaliny  $V$ , hustoty kapaliny  $\rho$  a gravitačního zrychlení  $g$  od vztahu vyjádřeného ve vzorci (10).



Obrázek 10 - Ukázka Wilhelmyho metody vyvažování destičky [31]

Na obrázku 10 čárkovaná čára znázorňuje polohu výšky úrovně hladiny kapaliny, do které by měla být vyzdvižena spodní hrana destičky.

Pokud je povrch kapaliny dokonale smáčen, čili je úhel smáčení nulový, nebo pokud je kontaktní úhel znám, pak se Wilhelmyho metoda používá pro stanovení povrchového či mezifázového napětí [31].

Při Wilhelmyho metodě může docházet k různým chybám v měření, které mohou být zapříčiněny například bobtnáním materiálu destičky při časově delším postupu měření

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou nebo adsorpcí par kapaliny na různých částech gravimetrického systému při měření teplotní závislosti [31].

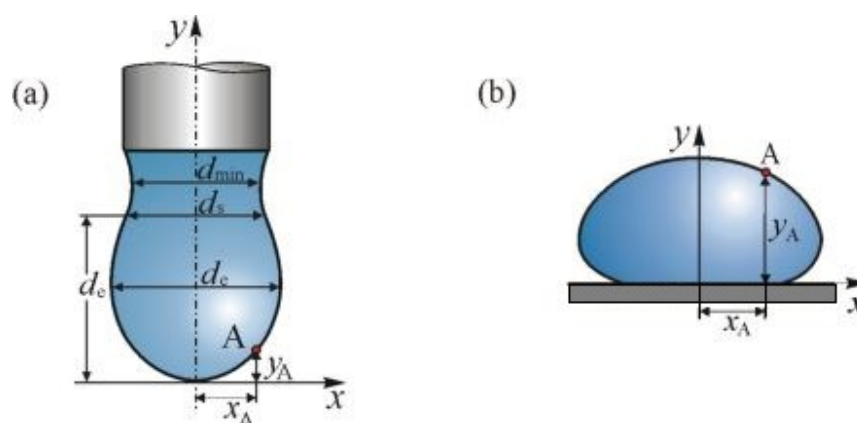
### 3.2.3 Metoda ADSA

Metoda ADSA (axisymmetric drop shape analysis) je metodou statickou. Jedná se o analýzu skutečného profilu kapky a následně jeho porovnání s teoretickým profilem kapky, jež byl získán z obecného tvaru Laplaceovy rovnice [1].

Metoda je založena na principu pozorování kapky mikroskopem, jejího snímání videokamerou a zpracováním obrazu kapky počítačem [1].

Metoda ADSA může mít podobný princip jako přímá metoda založená na sledování tvaru a kapek bublin popsáná v kapitole 3.1.2. Její odlišnost ale tkví v tom, že až na základě změření geometrických parametrů lze vypočítat úhel smáčení. Geometrickými parametry se myslí průměry kapky  $d_e$ ,  $d_s$ ,  $d_{min}$ , souřadnice bodů jejího profilu  $x_A$ ,  $y_A$ , popřípadě  $z_A$  (viz obrázek 11) aj. [1].

V metodě ADSA se využívá předpokladu, že kapka kapaliny je axisymetrická neboli osově souměrná a gravitace je pouze vnější silou. Povrchové napětí je parametr, který lze v programu pro výpočet kontaktního úhlu přímo nastavit a pomocí algoritmu je vyhledávána specifická hodnota povrchového napětí, která generuje nejlepší teoretický profil, jenž odpovídá profilu kapky [27].



Obrázek 11 - Ukázka metody ADSA, měření kontaktního úhlu na základě geometrických parametrů [32]

Obrázek 11 dále ukazuje, že je možno měřit nejen b) přisedlou kapku, ale také a) kapku visící.

Nejčastěji se k výpočtu úhlu smáčení používá výška kapky  $h$  a poloměr kapky v místě styku s pevnou fází  $r_b$ . Jejich rovnice jsou uvedeny postupně za sebou [25]:

$$h = R (1 - \cos \theta) \quad (14)$$

$$r_b = R \cdot \sin \theta \quad (15)$$

Označení  $R$  je poloměrem křivosti. Podíl těchto dvou rovnic, tedy výšky kapky a poloměru kapky, z něhož lze určit hodnotu kontaktního úhlu  $\theta$ , je dán následujícím vztahem [25]:

$$\frac{h}{r_b} = \frac{1 - \cos \theta}{\sin \theta} = \tan \left( \frac{\theta}{2} \right) \quad (16)$$

U těchto rovnic se počítá s malými poloměry kapek. Proto je vliv gravitace zanedbatelný. U větších kapek je používán při výpočtu jejich objem  $V$ . Pokud se nepočítá s výškou kapky, ale pouze s jejím objemem a poloměrem. Je dán vztah [25]:

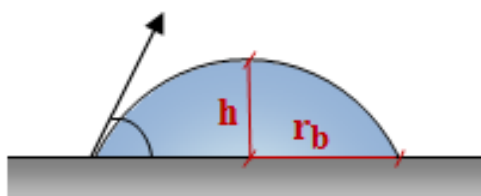


$$\frac{r_b^3}{V} = \frac{3\sin^3\theta}{\pi(2 - 3\cos\theta + \cos^3\theta)} \quad (17)$$

Pokud se počítá i s výškou kapky, pak vztah pro získání kontaktního úhlu je následující [33]:

$$\frac{r_b^2 h}{V} = \frac{3(1 + \cos\theta)}{\pi(2 + \cos\theta)} \quad (18)$$

Pro lepší představu a lepší pochopení rovnic využívaných v metodě ADSA slouží obrázek 12. Vyznačující výšku kapky  $h$  a poloměr kapky v místě styku s pevnou fází  $r_b$ .



Obrázek 12 - Analýza kapky při metodě ADSA vycházející z výšky a poloměru kapky; Zdroj: Vlastní

Měřením pomocí metody ADSA lze stanovit velmi nízké či naopak velmi vysoké hodnoty úhlů smáčení. Pokus je možno provádět i za zvýšeného tlaku či zvýšené teploty. Vylepšení této metody bylo dosaženo při používání zakřivení na vrcholu kapky místo poloměru křivosti jako parametru, který byl využíván na počátku vývoje metody ADSA. Proto dochází k zvýšení přesnosti až na  $\pm 0,2^\circ$ . Měření je také možno provádět i na drsném povrchu zkoumaného vzorku pomocí modifikované metody ADSA-D [1, 26, 27].

Existují i další metody navazující na metodu ADSA, například TIFA, která pracuje s dvourozměrnou teoretickou projekcí aplikovanou do experimentálního snímku. Zatímco ADSA pracuje pouze s jednorozměrnou profilovou křivkou na experimentálním snímku. Vývoj těchto metod jde ale stále dopředu [27].

#### **4. Možnosti a metodické postupy odmašťování povrchů kovů**

Odmašťování je způsob chemické úpravy, při kterém se z povrchu tuhé látky odstraňují nečistoty pomocí chemického činidla. Nečistoty, které na povrchu mohou ulpívat, se dělí na ulpělé a vázané. Ulpělé nečistoty jsou na povrchu kovu zachycovány vlivem adhezních a adsorbčních sil. K povrchu jsou tedy vázány fyzikálními silami a tvoří tak vrstvy určité tloušťky, kterou nelze pouhým okem rozpoznat, každopádně může být až několik milimetrů silná. Ulpělými nečistotami jsou zejména prachové částice, zbytky brusných či leštících past, mastnoty, slévarenský písek, vápno, malta, anorganické soli atd. Nečistoty vázané již k povrchu nejsou vázány vlivem fyzikálních sil, ale vlivem chemické vazby. Vznikají v důsledku reakce kovu s prostředím. Mezi vázané nečistoty se řadí rez jako produkt koroze, nebo také okuje, které jsou odpadem při tepelném zpracování [34, 35, 36].

Hlavním důvodem odmašťování jsou ale mastnoty. Mastnoty bývají především buď oleje na bázi ropy, anebo oleje či tuky přírodního původu, ať už rostlinného či živočišného. K zamaštění kovů dochází zejména ve výrobním procesu. Oleje a tuky se ale také používají jako ochrana proti korozi při jeho dlouhodobějším skladování. Pokud ovšem má být kov dále využit, provádí se jeho povrchová předúprava. Mastnoty totiž zabraňují přilnutí nátěru na kovovém povrchu a mohou také znehodnocovat průběh zasychání. Dokonce znemožňují vytvoření souvislé vrstvy nátěru. K tomu, aby byl nátěr kvalitně zhotoven, musí být tedy všechny mastnoty a další nečistoty z povrchu odstraněny [34, 37, 38].

Pro odmašťování existuje česká technická norma ČSN EN 13887 – Konstrukční lepidla – Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením, která je verzí evropské normy. Tato norma nabyla platnosti v dubnu roku 2004. Tato norma nahrazuje ČSN ISO 4588 (66 8517) z května 1994 [39].

## **4.1 Druhy odmašťovacích procesů**

Odmašťování je rozděleno podle použitého odmašťovacího prostředku. Dělí se na odmašťování [34]:

- a) v alkalických roztocích,
- b) v organických rozpouštědlech,
- c) elektrolytické,
- d) v neutrálních roztocích,
- e) v emulzních roztocích,
- f) opalováním,
- g) vysokotlaké kapalinné odmašťování
- h) ostatní procesy odmašťování [34].

### **4.1.1 Odmašťování v alkalických roztocích**

V nynější době je odmašťování v alkalických roztocích jeden z nejvyužívanějších procesů čištění kovových součástí vůbec. Tento způsob odmašťování se stal pro firmy funkčně, ekonomicky a ekologicky výhodný [40].

Alkalická odmašťovadla jsou na bázi louhu neboli hydroxidu, nejčastěji je v nich obsažen hydroxid sodný, hydroxid draselný. Co se v nich dále objevuje v kombinaci s louhem, jsou fosforečnany, uhličitany, křemičitany, emulgátory. Většina alkalických odmašťovačů obsahuje také jako vedlejší složku povrchově aktivní látky (anionaktivní tenzidy, neionogenní tenzidy a amfolytické tenzidy). Ty jsou výhodné především tím, že snižují povrchové napětí mezi roztokem a mastnotou, čímž dochází k vyšší účinnosti při

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou odmašťování. Odmašťování je ovlivněno hodnotou pH, čím vyšší pH, tím vyšší je účinek odmaštění kovového povrchu. Každopádně by pH nemělo být nižší než 10,2, protože by mohlo dojít k hydrolýze mýdla (neutralizované mastné kyseliny v roztoku ve formě rozpustného mýdla). Na druhou stranu zvýšení pH roztoku, zvyšuje pravděpodobnost koroze lehkých a barevných kovů. Problém koroze je řešen přítomností křemičitanů v roztoku, které možnost výskytu koroze potlačují. Bylo zjištěno, že ideální pH pro odmaštění oceli by mělo být vyšší než pH 13, pro odmaštění mosazi a zinku by se pH mělo pohybovat v rozmezí hodnot 12 - 13 a pro hliník se uvádí hodnota pH 10 – 11 [34, 36, 40, 41].

Nejlépe se odmašťují povrchy kovů, které jsou znečištěny rostlinnými a živočišnými tuky. Hůře se však odstraňují oleje, vosky, vazelíny (minerální oleje). Ty se totiž pouhým použitím alkalického přípravku neodmastí. Proto je nutné zvýšit teplotu roztoku, aby se minerální oleje uvolnily do tohoto odmašťovacího roztoku ve formě malých kapiček a vytvořila se tzv. emulze. Teplota je volena podle druhu odmašťovaného kovu i podle výběru aplikace alkalických roztoků, tedy podle toho, zda se jedná o ponor, postřik atd. [34, 41].

Při používání alkalických lázní je nutné vyčerpanou lázeň doplňovat chemikáliemi a odpadní vodu čistit v neutralizačních stanicích. Po odmaštění je důležité odstranit zbytky alkálií z povrchu kovu a to oplachem horkou vodou [34].

Existují tři základní typy zařízení užívaných pro odmašťování [34]:

- 1) Vany pro ponorné odmašťování – jsou seřazovány do linek, obsahují odsávací rám s přepadem pro odstranění plovoucích nečistot z hladiny a ponor je prováděn buď ručně, nebo pomocí kladkostroje.
- 2) Postřikové zařízení – lepší odmašťovací účinek, možnost průběžné práce, využití proudu horkého roztoku a oplach je prováděn ve stejném zařízení.

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

- 3) Bubnové zařízení – vhodné pro drobnější výrobky, princip je založen na ponoření a otáčení bubnu v lázni s následným oplachem a sušením [34].

Výhodou alkalických roztoků je to, že rozpouští anorganické soli, což například organické rozpouštědla nedokáží [34].

#### **4.1.2 Odmašťování v organických rozpouštědlech**

Odmašťování v organických rozpouštědlech je opět velmi známou metodou. Používáno je především tehdy, pokud není možno použít alkalické roztoky k odmaštění, například u barevných kovů. Jedná se o rychlý proces. Principem tohoto procesu je převedení filmotvorné složky z povrchu kovové součástky do roztoku. Nejčastěji se organické rozpouštědlo používá pro hrubé předčištění silných vrstev olejů nebo tuků [34, 42].

Bohužel jsou organická rozpouštědla považována při zvýšených limitech za látky ekologicky závadné. A jelikož některé druhy mastnoty nelze jinak odstranit než organickými rozpouštědly, je snaha o jejich opětovné využití a to se provádí pomocí destilace [43].

Na výrobu těchto organických rozpouštědel jsou kladeny vysoké požadavky. Nejideálnější rozpouštědlo by mělo být čiré, bezbarvé, bez výrazného zápachu, nehořlavé či málo hořlavé, nemělo by být těkavé a obsahovat vodu [42].

Při odmašťování organickými rozpouštědly je nejznámějším odmašťovadlem benzín nebo chlorované uhlovodíky. Tyto dvě látky mají mezi sebou jednu hlavní rozdílnou vlastnost – hořlavost. Hořlavost je velmi důležitá vlastnost, podle které se organické rozpouštědla dělí do dvou skupin. Tedy na rozpouštědla hořlavá a nehořlavá. Nechořlavá organická rozpouštědla jako například trichloretylen, tetrachloretylen mají schopnost velmi dobře rozpouštět mastnotu, vosk, asfalt a dehet. Vzhledem k tomu, že působí negativně na člověka i životní prostředí, byly v sedmdesátých letech 20. století tyto typy chlorovaných

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou uhlovodíků zakázány. Dalšími organickými rozpouštědly jsou hořlavé rozpouštědla na bázi alifatických (nearomatických) uhlovodíků. Zde patří i již zmíněný technický benzín. Ten je používán především díky své nízké toxicitě a velmi dobrému odmašťovacímu efektu. K hořlavým organickým odmašťovačům patří také aromatické uhlovodíky, těmi jsou například nafta nebo toulén. Problémem je, že některé organické odmašťovadla se rozkládají vlivem okolního prostředí na velmi jedovaté produkty nebo na produkty, které způsobují vedlejší účinky v podobě koroze kovů atd. [34, 36, 44].

Odmašťování povrchu kovů se provádí buď ručním nátěrem, ponorem do odmašťovadla, postřikem anebo v uzavřeném systému parních odmašťovaček, ve kterých dochází ke kondenzaci par na povrchu kovové součástky, k následnému stržení mastnoty vlivem těchto par z jejího povrchu, pádem do lázně a opětovné destilaci, kdy se proces znovu opakuje [45, 46].

Organická rozpouštědla není vhodné používat na vlhké povrchy a nelze jimi odstranit anorganické soli [36].

#### **4.1.3 Elektrolytické odmašťování**

Elektrolytické odmašťování je jedno z nejlepších odmašťovacích procesů, je založeno na principu vylučování vodíku na katodě a kyslíku na anodě. Tyto plyny mají dále za následek odstraňování mastnoty a dalších nečistot z povrchu kovů. Jsou rozeznávány tři typy elektrolytického odmašťování: katodické, anodické a nebo katodo-anodické [47].

Při katodickém odmašťování dochází k vylučování vodíku na katodě (kovová součástka, která je zapojena jako katoda) z roztoku tzv. elektrolytu, kterým je veden určitý proud. Tímto elektrickým galvanickým proudem je vylučován tedy vodík, který rozrušuje chemické vazby mastnoty na povrchu kovové součástky. Následkem narušení těchto vazeb se mastnoty a nečistoty z povrchu odstraní. Každopádně vodík je natolik silný, že dokáže

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou pronikat do povrchu kovu a tím zapříčiňuje jeho křehkost. Proto se kombinuje katodické odmašťování s anodickým. Anodické odmašťování je poněkud slabšího rázu, nezpůsobuje vodíkovou křehkost materiálu. Také trvá podstatně déle, jelikož kyslíku se na anodě vylučuje méně než vodíku na katodě. Proto se při kombinaci s odmašťováním katodickým udává poměr času působení při odmašťování jako 3:1 – delší čas je přisuzován anodickému odmašťování, kratší katodickému. Katodo-anodické neboli bipolární elektrolytické odmašťování probíhá v jedné odmašťovací lázni. Děje se tak přepínáním galvanického proudu z katody na anodu [40, 45, 47, 48].

Elektrolytické odmašťování může být použito pouze v alkalickém prostředí. Existují dva typy elektrolytu, které se v praxi používají [34]:

a) Alkalické kyanidové lázně:

Základním složením těchto lázní je hydroxid sodný, kyanid sodný a uhličitán sodný. Proces odmašťování probíhá již při teplotě 20 °C, účinnost je vysoká. Nevýhodou však je toxicita kyanidu [34].

b) Alkalické bezkyanidové lázně:

Bezkyanidové lázně jsou složeny z hydroxidu sodného, fosforečnanu sodného a uhličitanu sodného. Odmašťování je prováděno při teplotě 80 °C [34].

#### **4.1.4 Odmašťování v neutrálních roztocích**

Neutrálním roztokem se míní směs vody s neutrálním odmašťovacím prostředkem. Je vhodný pro čištění měkkých kovů nebo kovů neželezných. Odmašťování v neutrálních roztocích se používá při čištění objemnějších kovových povrchů. Neutrální roztoky jsou hodně pěnicí, a proto není vhodné odmašťování postřikem. Více se využívá ručního odmašťování nebo odmašťování ponorem. Neutrální roztoky nahrazují agresivní odmašťovadla, která jsou často používána v průmyslu [34, 49, 50].

#### **4.1.5 Odmašťování v emulzních roztocích**

Odmašťování v emulzních roztocích je proces odstraňování mastnoty na bázi vodného roztoku. Smísení rozpouštědla s vodou. Účinnost čističe se úměrně snižuje s obsahem vody v emulzním roztoku. Odmašťovací přípravky pro emulzní roztoky obsahují především organické rozpouštědlo a emulgátor. Emulgátorem je v tomto případě vyšší alkohol nebo jiné smáčedlo. Schopnost emulgátoru je taková, že emulguje mastnoty, a vytváří micely nečistot. Na jejich fázovém rozhraní je vytvořen povrchový film, který udává částicím určitou soudržnost a pevnost a umožňuje jejich oddělení na hladině. Pro dosažení vyšší účinnosti při odmašťování se také používá povrchově aktivní činidlo. Odmašťování se provádí ručním nátěrem, máčením nebo postřikem a je vhodným procesem pro odstranění hrubších vrstev mastnot [34, 51, 52, 53, 54].

#### **4.1.6 Odmašťování opalováním**

Odmašťování kovových předmětů opalováním se děje jejich ohřátím na určitou teplotu. Tento proces lze použít jen u předmětů, které se teplem nedeformují. Při vyšší teplotě jsou mastnoty na povrchu kovového předmětu spáleny na zplodiny plynného skupenství nebo na amorfni uhlík, který lze poté odstranit mořením nebo otryskáním. Aby nedocházelo k vpálení mastnoty do povrchu kovu, používají se nižší teploty. Je známo, že odstranění lehkých nečistot probíhá již při 300 °C a odstranění těžkých olejů při teplotě 700 °C [34, 45].

#### **4.1.7 Vysokotlaké kapalinné odmašťování**

Principem vysokotlakého kapalinového odmašťování je mechanické působení proudu kapaliny o vysokém tlaku. Některé zdroje uvádějí hodnoty tlaku od 4 až po 60 MPa, některé i hodnoty tlaku vyšší. Účinnost odmašťování se při mechanické práci totiž



Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou zvyšuje. Obvykle jsou ke kapalině (vodě) přidávány různé druhy povrchově aktivních látek k snížení povrchového napětí a zvýšení smáčivosti kovového povrchu. Tato metoda je vhodná k čištění mastnot u velkých kovových ploch. Výhodou je nenáročné čištění odpadních vod, nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady vysokotlakého zařízení [34, 36].

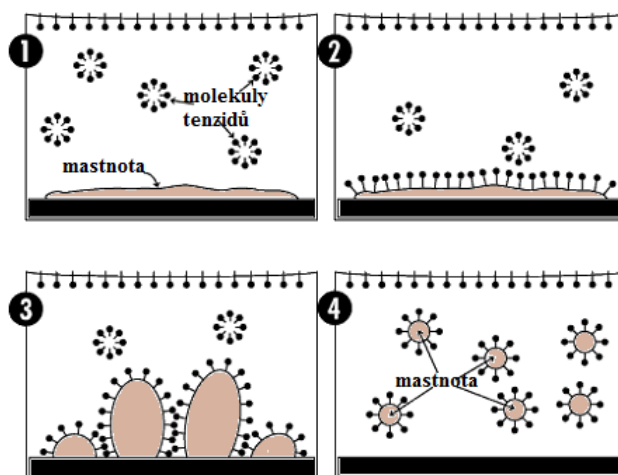
#### 4.1.8 Ostatní procesy odmašťování

K dalším procesům odmašťování patří například **ultrazvukové odmašťování**. Čištění ultrazvukem je čištění formou vibrační energie. Při ultrazvukovém čištění dochází ke změně tlaku a teploty, kdy vznikají bublinky páry, které implodují. Tomuto procesu se také říká kavitace. Probíhá na fázovém rozhraní pevné látky a kapaliny. Zařízení pro ultrazvukové odmašťování se skládá z čistící vany, převodníku (převádí elektrickou energii na mechanickou) a generátoru vysokofrekvenčního střídavého proudu. Změnou teploty mezi mastnotou a povrchem čištěného kovu nastává jejich částečné oddělení, v té chvíli médium, ve kterém proces odmašťování probíhá, vnikne do místa jejich oddělení a přeruší vazby mezi těmito dvěma fázemi, až dojde k jejich oddělení. Jako čistící médium se používá například technický benzín, alkohol (etanol, technický líh), saponát (jar apod.), kyselina octová, petrolej atd. Vlivem podtlaku, při kterém vznikají bublinky par, dochází k úplnému přerušení vazeb mezi mastnotou a povrchem kovu [51, 55].

**Odmašťování pomocí páry** je dalším způsobem odstraňování mastnoty z povrchu kovů. Tento typ odmašťování se používá v případech, kdy se odmašťování nadměrným množstvím vody či vysokým tlakem vody nehodí, aby se nenarušila povrchová struktura čištěného kovu. Princip odmašťování je stejný jako u vysokotlakého odmašťování, rozdílným faktorem je pouze používané médium. Pracovní médium je zde horká pára, která dosahuje teploty až 180 °C. Změna teploty a tlaku následně způsobuje uvolnění a odstranění mastnoty z povrchu kovu [36, 56].

A za zmínku stojí i **tenzidy**, které se používají jako přídavky i do dalších čistících/odmašťovacích roztoků, ať už alkalických, emulzních apod. Tenzidy jsou

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou povrchově aktivní látky. Jsou to organické látky a při odmašťování se hromadí na fázovém rozhraní. Jejich účinky se projevují snižováním povrchového napětí a zvyšováním smáčivosti povrchu kovu. Existují čtyři typy tensidů: anionické (anionaktivní), kationické (kationaktivní), (neionické) neionogenní a amfoterní. Mechanismus odmašťování tensidy je následující (viz.obrázek 13): smáčení povrchu tensidem (1), nahromadění tensidu na povrchu mastnoty a počátek oddělování mastnoty od povrchu kovové součástky (2), oddělování nečistot od povrchu (3), čistý povrch (4). Odmašťování se děje na základě složení molekuly tensidu. Jedna jeho část je hydrofilní (polární), druhá část hydrofobní (nepolární). Hydrofobní část je přitahována oleji, tuky, nečistotami. Druhá hydrofilní část je přitahována vodou [57, 58].



Obrázek 13 - Mechanismus procesu odmaštění kovové součástky pomocí povrchově aktivních látek;  
Zdroj: Vlastní

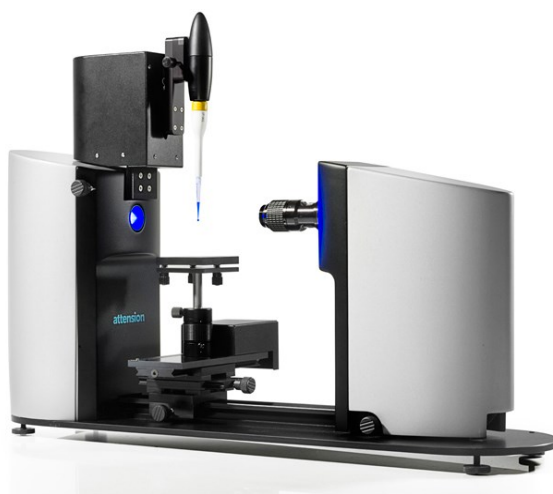
## 5. Vyhodnocení experimentálních dat

Cílem experimentu bylo vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů pomocí online měření povrchového napětí a úhlu smáčení. Metoda, jež byla použita, byla přímou metodou, ve které se měřila přisedlá kapka kapaliny na povrchu kovového plíšku.

### 5.1 Attension Theta

Experimenty byly prováděny pomocí přístroje Attension Theta. Attension Theta je optický tenziometr, přístroj, kterým se měří úhel smáčení, povrchová energie, povrchové napětí, mezifázové napětí, drsnost 3D povrchu, reologie fázového rozhraní. Jedná se o metodu přímou, popsanou v podkapitole 3.2.3 jako metoda ADSA [59].

Je sestaven ze systému dávkování kapalin, monochromatického zdroje světla, systému pro držení a polohování vzorků, vysoce kvalitní videokamery a softwarového modulu pro vyhodnocování dat. Videokamera umožňuje zachycovat až 3009 snímků za sekundu, výsledný obraz má rozlišení až 1984 x 1264 pixelů, čímž zaručuje velmi přesnou analýzu profilu kapky [59].



Obrázek 14 - Attension Theta [59]

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

Měření úhlu smáčení online metodou se provádělo před nanesením vrstvičky vosku na povrch kovu (tedy na čistý povrch), po jeho nanesení a po jeho následném odmaštění.

Byla měřena pravá strana kontaktního úhlu (KÚ [P]), levá strana kontaktního úhlu (KÚ [L]) a následně byl softwerem vypočítán medián (KÚ [M]).

## **5.2. Použité materiály**

Při experimentu byly použity tři různé kovové materiály - nerez, ocel, hliník. Všechny tyto kovové materiály byly malých rozměrů pro usnadnění měření. Jejich povrch byl na pohled rovný, hladký, bez rýh. Což při měření úhlu smáčení je velice důležité. Dané kovové materiály nejevily známky rzi, ocel z tohoto důvodu byl preventivně ošetřen smirkovým papírem.

### **5.2.1 Nerezový plíšek**

Nerez, neboli nerezová ocel, je materiál, který nepodléhá korozi. Je slitinou chromu a železa. Nerez je odolná vůči oxidaci vlivem příměsí, které obsahuje (nikl, chrom, molybden) – vytváří se pasivní vrstva na povrchu, která se při porušení obnovuje. Podle určitých zdrojů se u nerezavějící oceli může vyskytovat koroze, ale pouze lokálně a v různých specifických prostředích (koroze šterbinová, bodová, mezikrystalová, korozní praskání) [60].

Nerezová ocel se dělí podle chemického složení a struktury na martenzitickou, feritickou, austenitickou nerezovou ocel a jejich kombinace [60].

Nerez má nízkou mez kluzu (pružnosti) cca 230 – 500 MPa, vysokou houževnatost okolo 240 J.cm<sup>2</sup> při – 196 °C a tažnost zhruba 45 – 65%. Mez kluzu lze u nerezavějící oceli zvýšit, čímž se v závislosti snižuje její tažnost. Nerez není magnetická, avšak u

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou některých druhů může docházet k feromagnetismu. Další fyzikální vlastnosti viz tabulka 2. Snadno se čistí např. vodou, párou, alkalickými roztoky, organickými rozpouštědly [61].

### **5.2.2 Ocelový plíšek**

Ocel je slitinou železa a uhlíku. Podle způsobu použití se rozděluje ocel na konvertorovou, Siemensovu-Martinovu elektroocel atd. Dle chemického složení se dělí na ocel legovanou a nelegovanou, popřípadě nízkolegovanou. Obsahuje i další příměsi. Mechanické vlastnosti jsou ovlivňovány především obsahem uhlíku v oceli. Čím vyšší obsah uhlíku, tím roste tvrdost, ale klesá tažnost. Ocel je materiál dobře tvárný a houževnatý. Ve vlhkém prostředí podléhá korozi. Obvykle není ocel magnetická a je možné ji recyklovat [62, 63].

Mez kluzu se pohybuje od 281 MPa, tažnost okolo 20%, záleží na typu oceli. Další vlastnosti viz tabulka 2 [64].

### **5.2.3 Hliníkový plíšek**

Hliník je nestálý, kujný kov. Nejvíce se využívá ve formě slitin. Skvěle vodí teplo i elektrický proud. Při průchodu elektrickým proudem se hliník zahřívá a zvětšuje svůj objem. Je pokryt vrstvičkou oxidu hlinitého, aby nepodléhal korozi – čili je korozivzdorný. Tento kov je dobře rozpouštěn v koncentrovaných kyselinách (kromě kyseliny dusičné) nebo v kontaktu s hydroxidy alkalických kovů. Vyznačuje se nízkou hmotností. Hliník je nemagnetický a je možno jej recyklovat [65, 66].

Pevnost v tahu je u hliníku okolo 60 MPa, mez kluzu 20 MPa a tažnost okolo 25%. Další fyzikální vlastnosti viz tabulka 2 [66].

Druh kovu	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda$ [W/mK]	$c$ [kJ/kgK]	$\beta$ [10 <sup>-6</sup> K]
Hliník	2 700	221	0,92	23,8
Nerezová ocel	7 700	33	0,46	11
Ocel	7 840	46	0,46	11

Tabulka 2 - Fyzikální vlastnosti zkoumaných kovových plíšků [67, 68]

V tabulce jsou vyznačeny další fyzikální vlastnosti vybraných kovů. Hustota  $\rho$ , součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$ , měrná tepelná kapacita  $c$  a teplotní součinitel roztažnosti  $\beta$ . Nerezová ocel a ocel mají podobné fyzikální vlastnosti, ale v porovnání s hliníkem je rozdílnost znatelná. Hliník má například nejmenší hustotu a tepelnou vodivost, ale nejvyšší teplotní součinitel roztažnosti.

### 5.3 Použité odmašťovací prostředky a jejich metody

Pro experiment byly zvoleny dvě metody odmašťování, dva typy odmašťovacích přípravků. Prvním z nich byl přípravek LOS 1100 – přípravek ve spreji, druhým z nich byl 10% roztok jaru.

#### 5.3.1 LOS 1100

Přípravek LOS 1100 je průmyslový odmašťovací přípravek. Odstraňuje prach, špínu, oleje, mastnotu z kovových povrchů. Lze jej použít na čištění brzd, motorů atd. [69].

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

Používá se ve spreji. Po aplikaci se přípravek z povrchu rychle odpařuje, pro lepší účinnost je možné použít mechanickou práci – setření hadříkem atd. [69].

LOS 1100 obsahuje více než 30 % alifatických uhlovodíků. Složení: uhlovodíky, C6 – C7, n-alkany, isoalkany, cykloalkany, méně než 5 % n-hexanu, aceton [69].

Při experimentu byl přípravek LOS 1100 pouze nanesen na povrch kovu, nebyla při tomto pokusu použita voda ani žádná mechanická práce např. setření hadříkem apod. Jednalo se pouze o odmaštění kovového plíšku čističem ve spreji, jenž byl pod určitým tlakem.

### 5.3.2 Roztok jaru

Jar je tekutým prostředkem na ruční mytí nádobí. Odstraňuje nečistoty a mastnoty z různých materiálů, plastů, kovů atd. Jelikož se používá i v domácnosti, neměl by dráždit lidskou pokožku, neměl by být nijak toxický.

Složení: méně než 30 % fosfátů, 5 – 15 % neiontově aktivních povrchových látek, kyslíkové bělicí činidla, polykarboxyláty, méně než 5 % fosfonátů, enzymy, parfémy, Citronellol, Limonene (uhlovodík – cyklický terpen), Linalool (terpenový alkohol) [70].

Při experimentu bylo použit koncentrovaný roztok jaru v poměru 1:10. Nejprve byla vyzkoušena metoda pouhého omílání v lázni po dobu 5 minut (po 1 minutě, 2 minutách a dalších 2 minutách). Po každém procesu omílání byl plíšek oplachován tekoucí vodou po dobu 1 minuty. Metoda nakonec byla neúčinná, jelikož nedocházelo k úplnému odmaštění plíšku na počáteční hodnotu. Proto byla použita druhá metoda s použitím tlaku. Pomocí rozprašovače se po dobu 5 minut (stejně intervaly jako u předchozí metody) trýskal jarový roztok na povrch kovového plíšku. Následně probíhal oplach pod tekoucí vodou po dobu 1 minuty. Při této metodě opět nedocházelo k úplnému odmaštění povrchu. Byla zvolena tedy třetí metoda. U třetí metody s jarovým roztokem již bylo jasné, že je nutné použít určitou mechanickou práci na odstranění povrchu vosku z kovového plíšku. Proto byla

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou použita houbička namočená do roztoku jaru a následně touto houbičkou byl mastný povrch kovového plíšku setřen. Byl proveden i oplach pod tekoucí vodou pro odstranění pěny a zbytků jarové vody. Tato metoda byla ze všech tří metod neúčinnější.

## **5.4 Použité médium**

Při experimentu byla zvolena destilovaná voda a vosk jako média pro zjišťování smáčivosti povrchu.

### **5.4.1 Vosk**

Vosk je látkou, jehož hlavní složkou je živočišný tuk. Živočišný tuk je jednoduchým lipidem, což je organická látka s obsahem glycerinu a mastných kyselin. Je hydrofobní (nepolární charakter), tedy nerozpustný ve vodě. Dále je živočišný tuk dobře rozpouštěn v organických rozpouštědlech (benzin, aceton, chloroform aj.) [71, 72].

Dle námi provedeného pokusu o rozpustnosti vosku ve vodě, bylo tvrzení o jeho nerozpustnosti potvrzeno. Dalším pokusem bylo stanovení, zda je vosk také nerozpustný v ethanolu. Při tomto pokusu byl však zjištěn patrný pokles hmotnosti vosku na analytické váze, která byla použita jako součást určování reakčnosti vosku s ethanolem. Tudíž lze říci, že vosk je částečně rozpustný v ethanolu.

Složení: Adeps Bovis (živočišný tuk s obsahem glycerinu a mastných kyselin), parafín (směs vyšších nasycených alifatických uhlovodíků), vazelína, Paraffinum Liquidum (minerální olej ropného původu), aroma, D-Limonene, Linalool (terpenový alkohol), Butylphenyl Methylpropional, Hydroxycitronellal, Amyl Cinnamal, Coumarin, Alpha-Isomethyl Ionone, Benzyl Alcohol (organický alkohol), Eugenol, Citral [73].



#### 5.4.2 Destilovaná voda

Voda je chemicky čistou látkou bez příměsí, je považována také za univerzální rozpouštědlo. Má polární charakter [74].

Destilovaná voda je voda zbavena minerálních látek a dalších příměsí. Má nízkou měrnou elektrickou vodivost. Hustota destilované vody se mění v závislosti na teplotě (pro 22 °C je hustota vody 0,9977 g/cm<sup>3</sup>, zatímco pro 5 °C je hustota vody 0,9999 g/cm<sup>3</sup>). I viskozita a povrchové napětí se vlivem teploty mění (pro 22 °C je povrchové napětí vody 72,27 mN/m a pro 5 °C okolo 74,86 mN/m) [75].

V experimentu byla pro porovnání zvolena odlišná teplota vody 5 °C a 22 °C.

#### 5.5 Postup měření

Postup měření je popsán následovně:

A) Měření s odmašťovacím přípravkem LOS 1100 (průmyslovým čističem brzd):

1. Nejprve byla změřena počáteční hmotnost plíšku bez jakýchkoliv nečistot. Naprostá čistota byla dosažena umytím plíšku vodou s přidavkem jaru a následným očištěním etanolem.
2. Pomocí přístroje Attension Theta byl změřen kontaktní úhel u devíti pokusů.
3. Na plíšek byla nanесena vrstvička vosku. Po nanесení byl vzorek opět zvážen pomocí analytické váhy a změřen jeho kontaktní úhel (9x).
4. V dalším kroku byl použit přípravek LOS 1100 pro odmaštění povrchu (1x). Následně byl ponechán chvíli v klidu než pro dokonalé vysušení.
5. Vzorek byl opět zvážen a byl změřen jeho kontaktní úhel.

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

6. Bylo provedeno další odmaštění a to stejným přípravkem. Opět zváženo na analytické váze a změřen jeho kontaktní úhel.
7. Postup byl proveden pro 3 typy kovů: nerez, ocel, hliník. A při měření kontaktního úhlu byly použity dvě rozdílné teploty vody: 22 °C, 5 °C.

B) Měření s koncentrovaným roztokem jaru (poměr 1:10):

1. Nejprve byla změřena počáteční hmotnost plíšku bez jakýchkoliv nečistot. Naprostá čistota byla dosažena umytím plíšku vodou s přídavkem jaru a následným dočištěním pomocí etanolu.
2. Pomocí přístroje Attension Theta byl změřen kontaktní úhel u devíti pokusů.
3. Na plíšek byla nanесena vrstvička vosku. Po nanесení byl vzorek opět zvážen pomocí analytické váhy a změřen jeho kontaktní úhel (9x).
4. V dalším kroku byl použit koncentrovaný roztok jaru namočením houbičky do roztoku a následným setřením mastnoty z plíšku (1x). Poté byl plíšek opláchnut vodou od přebytečné jarové pěny, vysušen.
5. Vzorek byl zvážen a byl změřen kontaktní úhel (9x).
6. Bylo provedeno další odmaštění otřením houbičkou s koncentrovaným roztokem jaru (1x). Vzorek byl opláchnut vodou a následně vysušen.
7. Vzorek byl zvážen na analytické váze a online měřením byl znovu změřen kontaktní úhel (9x).
8. Bylo provedeno poslední odmaštění houbičkou s jarovou vodou (1x), opláchnutí pod tekoucí vodou a vysušení, zvážení a změření kontaktního úhlu.

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

9. Takto bylo měření provedeno u 3 odlišných kovů: nerezový plíšek, ocelový plíšek, hliníkový plíšek. A při zjišťování kontaktního úhlu byla použita voda rozličné teploty: 22 °C, 5 °C.

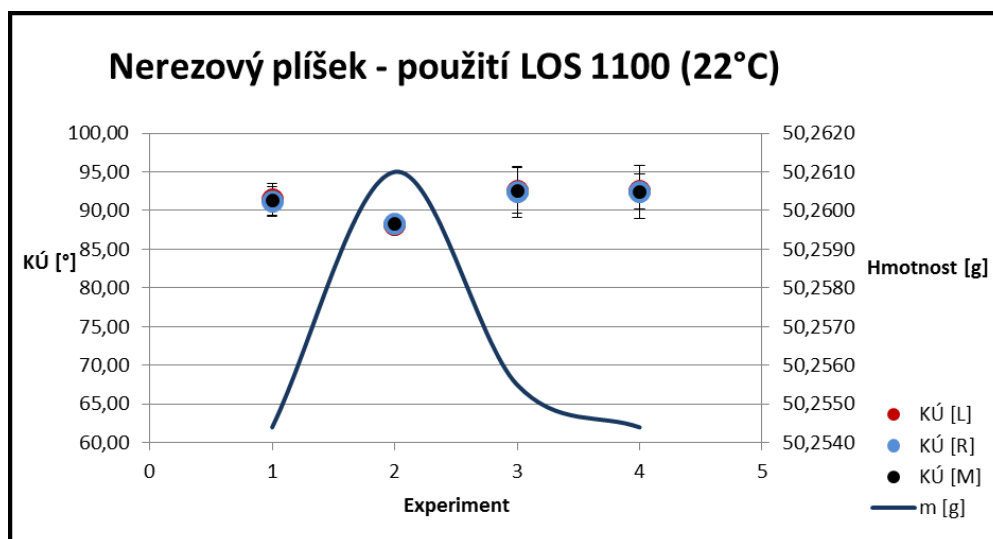
## **5.6 Vyhodnocení experimentálních dat**

Všechny experimentální data byly přepsány do přehledných tabulek (tabulky jsou uvedeny v přílohách) a výsledky znázorněny v grafech.

### **5.6.1 Nerezový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě vody 22 °C**

Při použití LOS 1100 bylo dosaženo úplného odmaštění nerezového plíšku podle ověřovací hmotnostní metody. Úhel smáčení se pohyboval okolo 90°, povětšinou tuto hodnotu nepřekročil. V porovnání s podkapitolou 5.6.7 je ovšem jasné, že v tomto experimentu byl úhel smáčení ovlivněn. Pravděpodobně zde docházelo ke změně volné entalpie při reakci etanolu s vodou, kdy se při této reakci uvolňovalo teplo. Vlivem teplotního růstu se povrchové napětí zvyšovalo, čímž se zvýšil i kontaktní úhel. Jediná průměrná hodnota, která překročila úhel smáčení menší než 90°, byla hodnota po nanesení vosku na kovový povrch. Pravděpodobně to bylo zapříčiněno voskem, který jakoby blokoval vliv tepelného toku této reakce při měření. V dalším pokusu, tedy při použití odmašťovacího přípravku LOS 1100, již lze vidět vyšší úhel smáčení než u pokusů předchozích. Zde totiž docházelo k další reakci, kdy micely odmašťovače odpuzovaly vodu, čímž vycházely opět vyšší hodnoty úhlů smáčení. Z hmotnostní křivky v grafu 1 je ovšem jasné, že k odstraňování vrstvičky vosku postupně opravdu docházelo. Účinnost prvního odmaštění nerezového plíšku byla okolo 83%. Podle výsledků z přístroje, které lze vidět, ať už v příloze 1 nebo grafu 1, se ale kontaktní úhel nedostal na hodnotu počátečního měření, kdy byl plíšek dokonale vyčištěn. Rozdíl počáteční hodnoty kontaktního úhlu a

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou hodnoty na konci měření se lišil o  $\pm 1,12^\circ$ . Každopádně tato změna je minimální. A podle všeho k odmaštění povrchu došlo. Odchyšky v měření byly zanedbatelné.

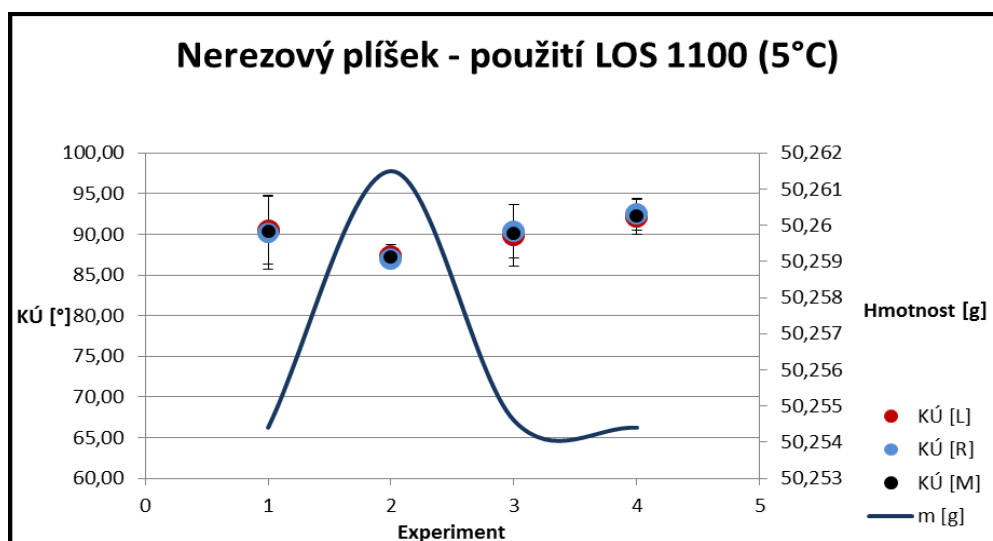


Graf 1 - Znázornění nerezového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a teplotě vody 22 °C; Zdroj: Vlastní

### 5.6.2 Nerezový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě vody 5 °C

Výsledky z druhého měření, kdy byla použita voda o teplotě 5 °C, byly podobné výsledkům z předchozího měření s vodou o teplotě 22 °C. Vlivem zvýšené odchylky v prvním pokusu nelze s určitostí říci, jestli se hodnota kontaktního úhlu zvýšila použitím média (vody) o teplotě nižší než 22 °C, k čemuž podle teorie mělo dojít. Odchyška prvního pokusu byla pravděpodobně způsobena mísením zbytkového etanolu s vodou, jelikož obě tyto látky mají polární charakter. Pro stejný průběh jako v předchozí podkapitole 5.6.1 lze říci, že se i zde objevila stejná situace, kdy došlo ke změně entalpie vlivem uvolnění tepla při reakci etanolu s vodou. Čímž došlo k zvýšení povrchového napětí, a tím zvýšení kontaktních úhlů daných pokusů. V druhém určování kontaktního úhlu, tedy po nanesení vrstvičky vosku, došlo ke změně kontaktního úhlu, jenž se zmenšil. Vrstvička vosku byla tedy tzv. bariérou mezi teplem uvolňujícím se při mísení vody s etanolem při prvním pokusu a aplikovanou kapkou vody druhého pokusu. Při dalším měření, tedy při použití

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou odmašťovacího přípravku LOS 1100, lze z grafu 2 a přílohy 2 vidět vyšší úhel smáčení než u předchozích měření tohoto pokusu. Na povrchu nerezového plíšku pravděpodobně ulpěla zbytková vrstvička odmašťovače, a micely tohoto odmašťovače následně odpuzovaly vodu, čili došlo ke zvyšování kontaktního úhlu při jejich styku. Přípravek má pravděpodobně vlastnost odpuzovat vodu za účelem lepší korozivzdornosti kovů. K tomu, že k odstraňování vrstvičky vosku opravdu došlo, informuje graf 2 pomocí hmotnostní křivky. Účinnost odmaštění kovového plíšku byla již při prvním pokusu okolo 97%. Dle ověřovací hmotnostní metody došlo na konci experimentu k úplnému odmaštění kovového plíšku (účinnost odmašťování 100%). Podle přístroje Attension Theta nebylo dosaženo dokonalého vyčištění kovového povrchu. Výsledný kontaktní úhel neodpovídal úhlu smáčení na začátku experimentu o cca 1,9° (vlivem Zeta-potenciálu). Každopádně odchylky v tomto experimentu byly opět zanedbatelné.



Graf 2 - Znázornění nerezového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a teplotě vody 5 °C; Zdroj: Vlastní

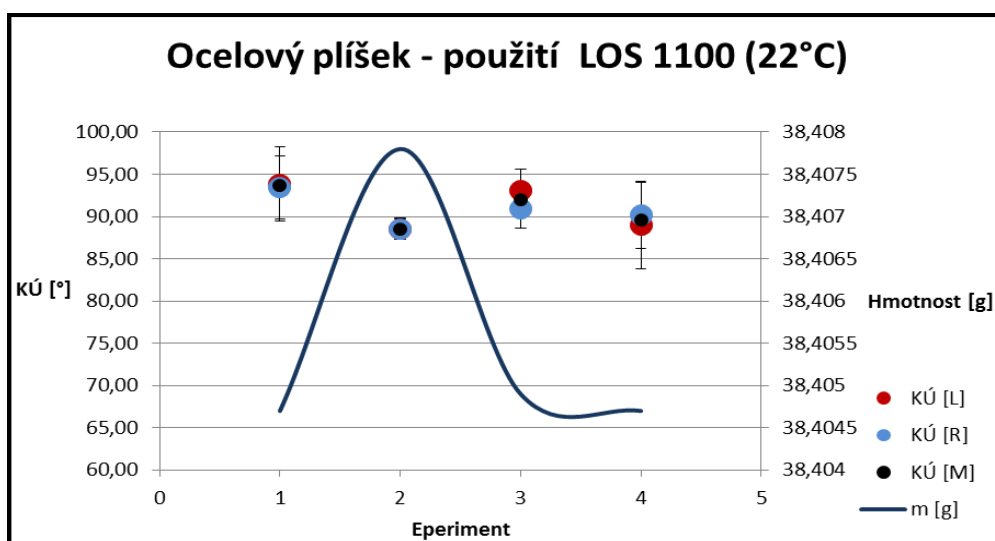
### 5.6.3 Ocelový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě 22 °C

Při měření kontaktního úhlu u ocelového plíšku při pokojové teplotě 22 °C, se úhel smáčení pohyboval okolo 90° a výše. Dosáhnutá průměrná hodnota úhlu smáčení pod 90°

byla naměřena po nanesení vrstvičky vosku na kovový povrch (snížení kontaktního úhlu). Přičemž z hmotnostní křivky znázorněné na grafu 3, lze názorně vidět v tomto bodě, že plíšek naopak nabyl hmotnosti. Stejným způsobem jako u ostatních již zmíněných předchozích podkapitol totiž došlo ke změně volné entalpie. Čímž došlo ke zvýšení kontaktních úhlů o několik málo stupňů. A kde nanesení vosku působilo jako bariéra vůči tepelnému toku přenášeného z povrchu kovu na kapku vody. Při dalším měření, tedy při použití odmašťovacího přípravku LOS 1100, je možno vidět vyšší úhel smáčení než u předchozích pokusů a to vlivem schopnosti odmašťovače odpuzovat vodu. Každopádně zde již docházelo k odstraňování vrstvičky vosku, účinnost odmašťování byla stanovena na 94%. Na grafu 3 je možno vidět menší oscilování pravého KÚ [P] a levého kontaktního úhlu KÚ [L] u třetího pokusu (zřetelné červené a modré body ne příliš překrývající se), pravděpodobně vlivem špatně vyrovnané podkladové destičky nebo nerovnoměrně rozprostřeného zbytkového vosku na kovovém povrchu. Úhel smáčení na konci experimentu byl o něco menší než na začátku experimentu. Došlo tedy podle přístroje Attension Theta k úplnému odmaštění povrchu a stejně tak to bylo ověřovací hmotnostní metodou potvrzeno. Odchyšky měření byly stále minimální. Jediný případ relativně odlišné hodnoty (úhel smáčení byl vyšší než  $100^\circ$ ) byl stanoven u prvního měření kontaktního úhlu, a je pro srovnání znázorněn na snímcích níže viz obrázek 17. Na snímcích lze vidět tři poslední stanovení úhlu smáčení na ocelovém plíšku ještě před nanesením vosku. Již první snímek je odlišný o cca  $8^\circ$ -  $11^\circ$  vůči ostatním dvěma snímkům. Na druhou stranu lze také v grafu 3 a z výsledných hodnot v příloze 3 vidět, že při druhém měření v tomto pokusu s LOS 1100 při teplotě média  $22^\circ\text{C}$  bylo dosaženo velmi přesného měření u všech devíti výsledků, což je vyobrazeno pouze modrou barvou pravého kontaktního úhlu zakrývající červenou barvu levého úhlu smáčení.



Obrázek 15 - Snímky z přístroje Attension Theta ukazující rozdíl při měření kontaktního úhlu KÚ [M] s odlišností až 10° (snímek nalevo 103,71°, postupně snímky napravo 95,44° a 92,70°); Zdroj: Vlastní

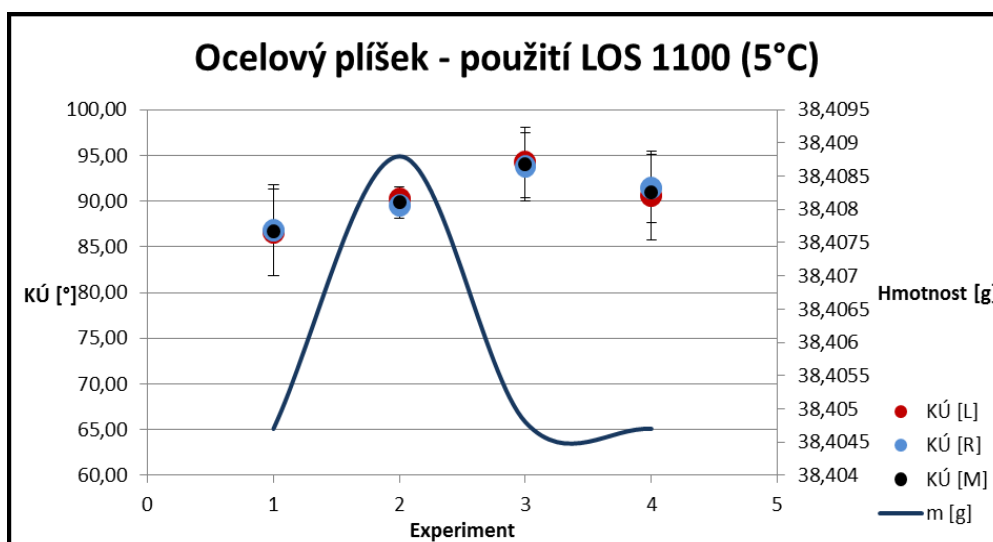


Graf 3 - Znázornění ocelového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a teplotě vody 22 °C; Zdroj: Vlastní

#### 5.6.4 Ocelový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě 5 °C

Výsledky z měření ocelového plíšku při použití LOS 1100 při teplotě média 5 °C, byly na začátku měření poněkud odlišné od předchozích experimentů (viz předchozí podkapitoly), jelikož úhel smáčení při prvním stanovení byl naměřen podstatně nižší. Z teoretického pohledu je tato situace naprosto normální. Měření již nebylo ovlivněno

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou změnou volné entalpie. Vyšší hodnota odchylky prvního pokusu byla způsobena mísením etanolu, který ulpěl na povrchu kovu při čištění, s vodou. Odchylka v tomto měření byla stanovena na  $\pm 4,82^\circ$ , kdy se úhel smáčení pohyboval od  $78,69^\circ$  až po  $94,22^\circ$ . Po nanesení vrstvičky vosku na kovový povrch byl úhel smáčení navýšen. Stejně tak jako hmotnost. Toto oboustranné navýšení je znázorněno v grafu 4 a příloze 4. U následujících dvou pokusů byly z hlediska určení kontaktního úhlu hodnoty opět vyšší. Jak již bylo popsáno v předchozích podkapitolách, jednalo se o odpuzování micel odmašťovacího přípravku a vody. Proto také nebylo dosaženo stejných hodnot úhlů smáčení na konci experimentu jako na jeho začátku. Každopádně v těchto měřeních, tedy v posledních dvou stanoveních, je možno z grafu 4 vidět postupné odstraňování vosku z kovového povrchu a to z hlediska hmotnostní křivky (hmotnostní ověřovací metoda). Účinnost odmašťování ocelového plíšku již po prvním použití LOS 1100 byla 98%, po druhém použití LOS 1100 byla účinnost 100%. Čili k odmaštění plíšku opravdu došlo. Odchylky v měření jsou opět zanedbatelné.



Graf 4 - Znázornění ocelového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a teplotě vody  $5^\circ\text{C}$ ; Zdroj: Vlastní



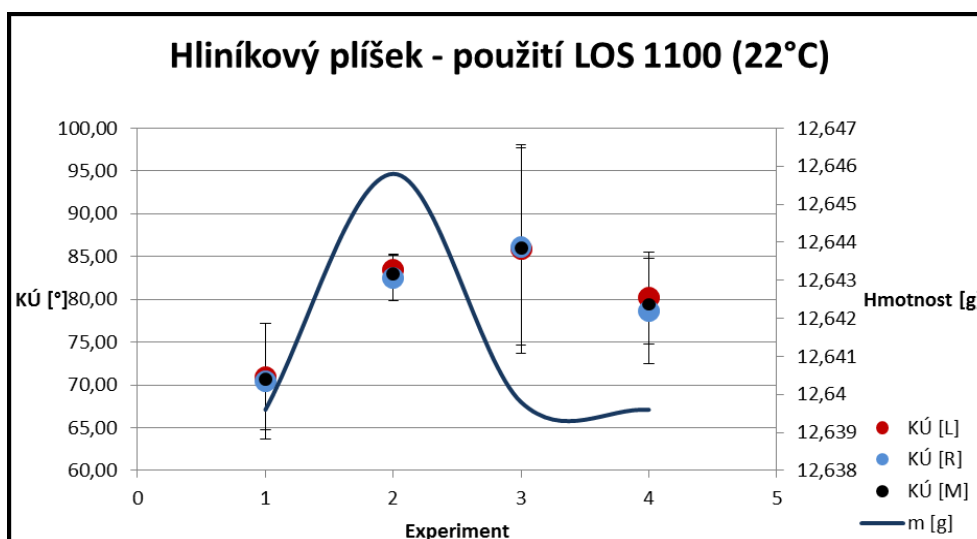
### 5.6.5 Hliníkový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě 22 °C

Výsledky hliníkového plíšku s použitím LOS 1100 při teplotě 22 °C jsou poněkud stejného rázu jako výsledky v podkapitole 5.6.4, tím se myslí stejný průběh. Každopádně zde výsledky vykazují normální stav, při kterém v dalším měření o teplotě média 5 °C docházelo k naprosto ideálnímu výsledku, jenž dle teoretických poznatků je zvýšení kontaktního úhlu po použití vody s teplotou nižší než 22 °C. Hned při prvním pokusu se ovšem vyskytla hrubá chyba v měření (znázorněná červenou barvou v příloze 5). S cílem přesnějších výsledků se tento výsledek vyloučil z jakýchkoliv dalších výpočtů. Tento chybný kontaktní úhel měl hodnotu 36,84° a je také znázorněn na obrázku 16. Ačkoliv byla odchylka po odstranění chyby z výsledných hodnot snížena, stále měla hodnotu  $\pm 6,4^\circ$ . Průměrný úhel smáčení KÚ [M] se u tohoto pokusu pohyboval od 63,58° až po 84,20°. Důvodem pravděpodobně bylo mísení etanolu s vodou, jelikož obě tyto látky mají polární charakter. Proto vlivem této reakce došlo ke kolísání hodnot kontaktního úhlu u prvního pokusu. Následující pokusy proběhly naprosto stejně jako u předchozích podkapitol. Vlivem nanesení vrstvičky vosku, došlo k navýšení kontaktního úhlu. A došlo také k navýšení úhlu smáčení při použití odmašťovacího prostředku LOS 1100. A jak již bylo vysvětleno v předchozích podkapitolách, možné ovlivnění kontaktního úhlu při použití odmašťovacího přípravku mohlo být způsobeno tím, že micely odmašťovače měly schopnost ve výsledné fázi odpuzovat vodu, čili zvyšovat kontaktní úhel při jejich styku. Jedna z odlišností vzhledem k předchozím podkapitolám se mohla jevit větší kolísavostí pravého KÚ [P] a levého kontaktního úhlu KÚ [L] u posledního pokusu. Což mohlo být způsobeno špatně vyrovnanou podkladovou destičkou. Odchylky v těchto měřeních již nejsou tak zanedbatelné v porovnání s ostatními experimenty popsány v jiných podkapitolách. Odchylky jsou zde podstatně vyšší, a proto byla určena nižší přesnost měření. Například u třetího pokusu lze vidět vysokou hodnotu odchylky (viz graf 5 a příloha 5). Průměrná odchylka tohoto pokusu byla stanovena na  $\pm 11,8^\circ$ . Důvodem mohlo být nestejně rozprostření vosku, popřípadě vrstvičky odmašťovače na povrchu kovu, kdy micely odmašťovacího prostředku tak odlišně odpuzovaly vodu. Dokonce je možné, že nastala situace vyskytující se rýhy na povrchu hliníkového plíšku. Odchylka mohla být

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou také způsobena odlišnou tepelnou vodivostí hliníku. Ačkoliv dle výsledků z měření úhlů smáčení nelze jednoznačně říci, jestli proběhlo úplné odstranění vosku z kovového plíšku, hmotnostní zkouška prokázala, že k odmaštění povrchu kovu opravdu došlo. Dle hmotnostní ověřovací metody účinnost odmašťování byla již při prvním použití LOS 1100 okolo 97%, další pokusem vzrostla účinnost až na 100%.



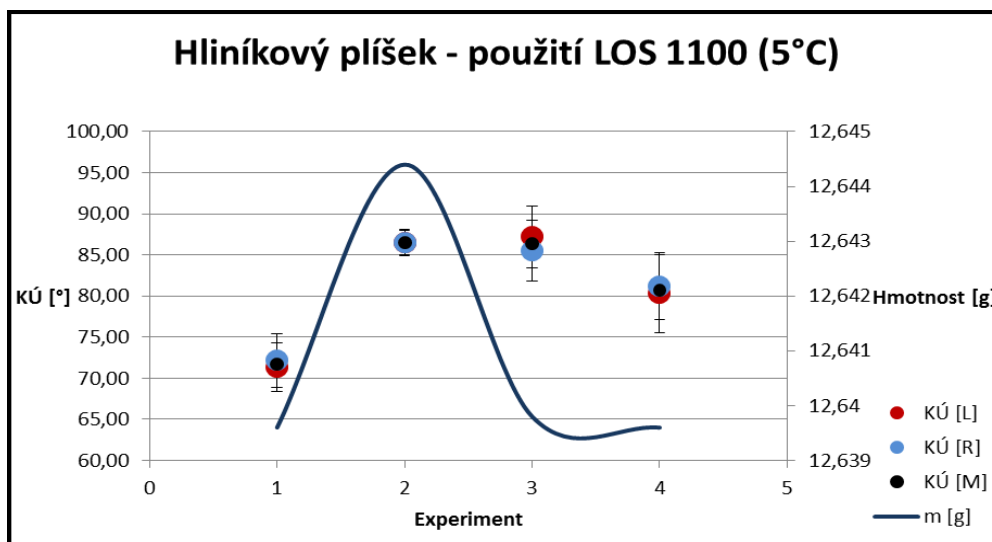
Obrázek 16 - Chybný úhel smáčení 36,84°; Zdroj: Vlastní



Graf 5 - Znárodnění hliníkového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a při teplotě vody 22 °C; Zdroj: Vlastní

### **5.6.6 Hliníkový plíšek s použitím LOS 1100 při teplotě 5 °C**

Při měření úhlu smáčení na hliníkovém plíšku s použitím LOS 1100 při teplotě vody 5 °C bylo dosaženo vyššího úhlu smáčení v prvním pokusu oproti předchozímu experimentu s vodou o teplotě 22 °C. Jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole 5.6.5, jednalo se o naprosto normální jev, kdy vlivem nižší teploty a viskozity kapaliny docházelo k snížení schopnosti kapaliny smáčet povrch kovu. Úhel smáčení se při experimentu pohyboval okolo 70°. Dle teorie (vychází se z tabulky 1) se hliník řadí mezi kovy dobře smáčitelné. V druhém pokusu, tedy po nanesení vrstvičky vosku na kovový povrch, bylo dosaženo navýšení hodnoty kontaktního úhlu (vrstvička vosku snižuje smáčivost povrchu). Následující pokusy této série jsou pokusy, při kterých docházelo k odstranění vrstvičky vosku z kovového povrchu. Na grafu 6 a v příloze 6 lze vidět, že na konci celého experimentu nebyla dosažena stejná hodnota úhlu smáčení jako na začátku experimentu (1. a 4. pokus) a jelikož z hmotnostní neboli také ověřovací metody je patrné, že k odstranění vrstvičky vosku opravdu došlo, na vině může být stále vyskytující se minimální vrstvička odmašťovacího prostředku na povrchu kovu (hmotnostně zanedbatelná), která nadále ovlivňovala, z hlediska potenciálu Zeta, výsledný kontaktní úhel, který zvyšovala. Maximální průměrná odchylka středního úhlu smáčení KÚ [M] byla  $\pm 4,32^\circ$ , což je odchylka posledního pokusu, jeví se víceméně jako zanedbatelná. Účinnost odmašťování při prvním použití LOS 1100 byla 96%, došlo tedy k rychlému procesu odstraňování vosku z povrchu kovu. Při druhém použití odmašťovacího přípravku již bylo dosaženo 100% účinnosti odmaštění hliníkového plíšku.



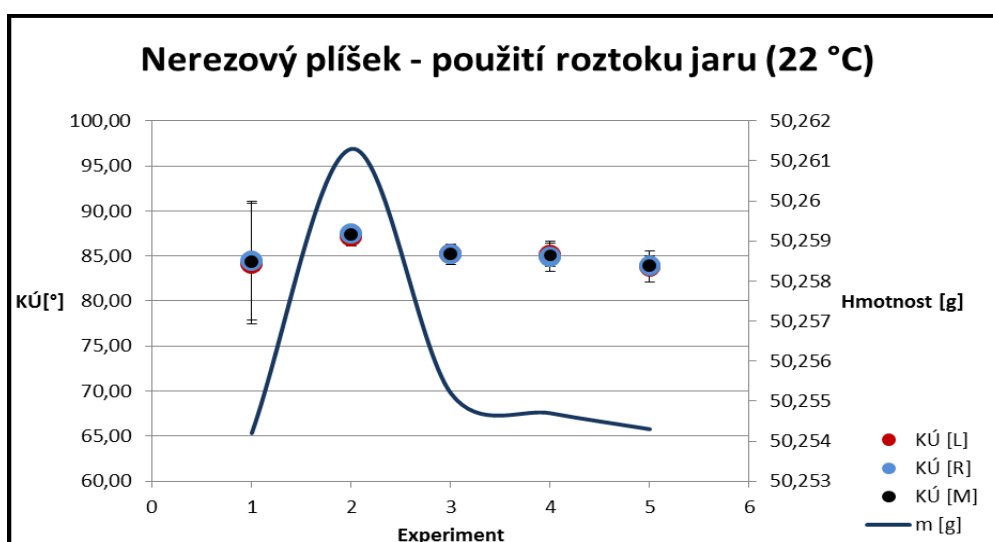
Graf 6 - Znáznornění hliníkového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a při teplotě vody 5 °C; Zdroj: Vlastní

### 5.6.7 Nerezový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 22 °C

Při měření kontaktního úhlu na nerezovém plíšku s vodou o teplotě 22 °C, se průměrný úhel smáčení v tomto experimentu s roztokem jaru pohyboval okolo 85°. Z tabulky 1 tedy vyplývá, že nerezovou ocel lze považovat za kov dobře smáčivý. Stejně jako u předchozích experimentů byla i zde naměřena vyšší odchylka prvního pokusu vůči následujícím pokusům daného experimentu. Vyšší odchylka je patrná z grafu 7. Průměrná odchylka prvního pokusu byla  $\pm 6,65^\circ$ . Víceméně jako u všech ostatních experimentů (viz předchozí podkapitoly) docházelo k většímu oscilování úhlů smáčení u jejich prvních pokusů. Pravděpodobně vlivem mísení zbytkového etanolu s vodou. Obě tyto látky mají totiž polární charakter, a proto v podstatě dochází k jednoduché reakci mezi nimi a tak i k následnému kolísání hodnot kontaktního úhlu. Při druhém stanovení úhlu smáčení je z grafu 7 a z výsledných hodnot v příloze 7 názorně vidět, že došlo při nanesení vosku na povrch nerezové oceli k zvýšení kontaktního úhlu oproti pokusu prvnímu. Což teorie naprosto potvrzuje, protože vosk způsobuje nižší smáčivost povrchu kapalinou. Při dalším třetím pokusu docházelo k odstraňování vrstvičky vosku při použití roztoku jaru, kontaktní

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

úhel se tedy snižoval. Byl snížen i při dalším čtvrtém a pátém měření. Výsledky kontaktních úhlů na konci experimentu v příloze 7 ukazují, že bylo dosaženo původních hodnot jako na začátku experimentu. Každopádně je nutno zmínit, že výsledky z ověřovací hmotnostní metody hovoří o tom, že při použití roztoku jaru jako odmašťovadla, nikdy nedošlo k naprostému vyčištění povrchu kovu od nečistot. Tudíž na povrchu kovu mohla buď ulpět jakákoliv zbytková vrstvička jaru, která dělala povrch kovu lépe smáčitelným z hlediska kontaktního úhlu a jež byla prokázána hmotnostní zkouškou, anebo výsledné hodnoty byly ovlivněny chybou a přesností analytických vah a k odmaštění opravdu došlo. Odchyłky měření byly minimální.



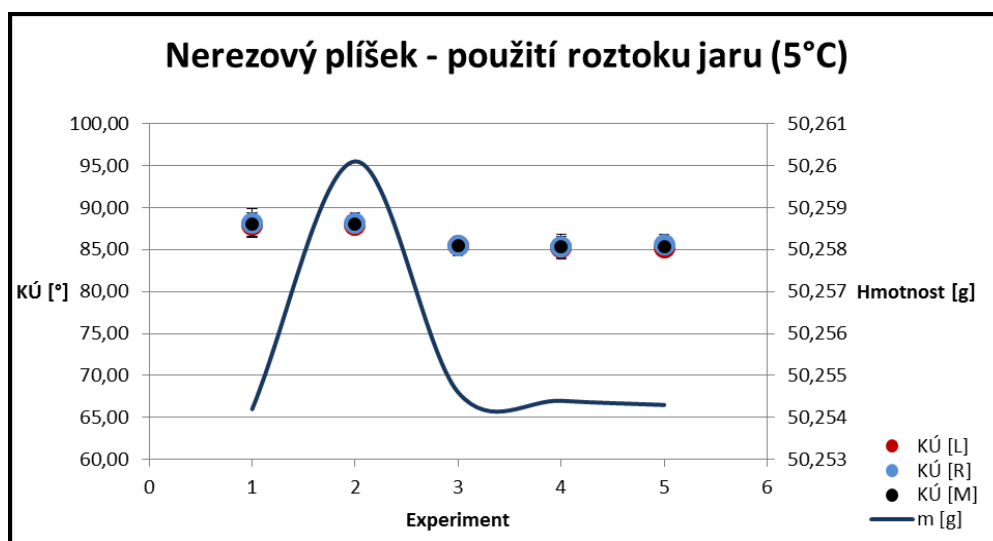
Graf 7 - Znáozornění nerezového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 22 °C; Zdroj: Vlastní

### 5.6.8 Nerezový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 5 °C

Při měření úhlu smáčení na nerezové oceli v experimentu s roztokem jaru a při teplotě vody 5 °C, byl navýšen kontaktní úhel o několik stupňů oproti předchozímu experimentu s vodou o teplotě 22 °C. Důvodem byla nižší teplota vody, která se vyznačuje také nižší viskozitou a to má za následek menší smáčivost povrchu kovu kapalinou neboli vyšší hodnotu úhlu smáčení. U druhého měření kontaktního úhlu došlo k jeho nepatrnému

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

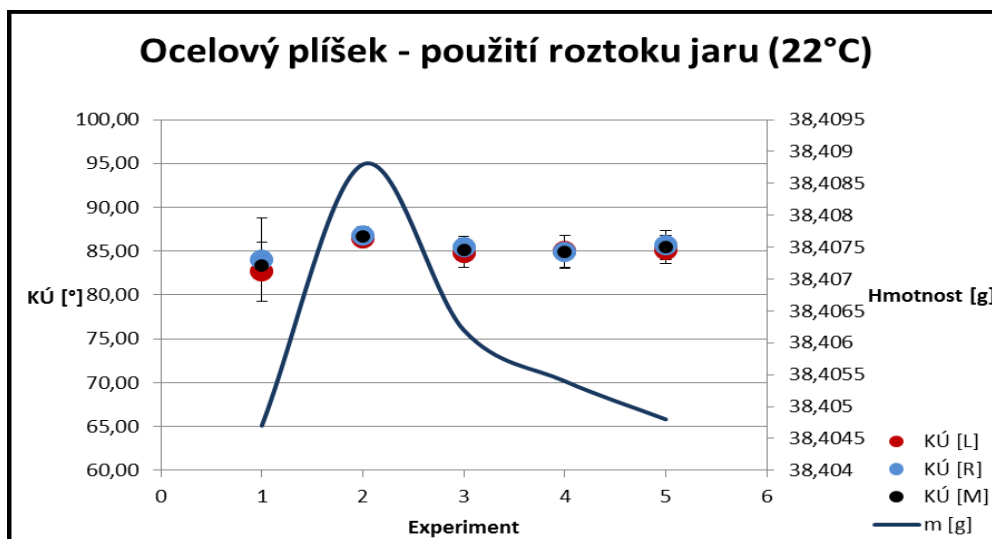
navýšení vlivem nanesení vrstvičky vosku na kovový povrch. Navýšena byla i hmotnost a je také zaznamenána na grafu 8 pomocí hmotnostní křivky. Z hlediska odchylky v prvním měření, která byla průměrně  $\pm 1,55^\circ$  a vzhledem k malému množství naneseného vosku není nutno brát toto nepatrné navýšení popřípadě relativně stejný průměrný úhel smáčení za jakoukoliv chybu v měření. Další pokusy (pokus 3, 4, 5) jasně naznačují, že v této fázi již docházelo k pozvolnému odstraňování vosku z povrchu kovu. Tento děj je také znázorněn na grafu 8 a v příloze 8. Odstraňování vosku neprobíhalo tak rychle jako při použití odmašťovacího přípravku LOS 1100, proto se tento pokus odmašťování opakoval třikrát. Účinnost odmaštění kovového plíšku po prvním použití roztoku jaru byla 93%, po druhém použití byla 97% a po třetím použití byla účinnost odmašťování stanovena na 99%. Jak již bylo zmíněno v předchozí podkapitole, při použití jaru nedocházelo k naprostému odmaštění povrchu kovu z hlediska hmotnostní ověřovací metody. Uvažuje se ale také o tom, že na povrchu kovu mohla buď ulpět zbytková vrstvička jaru, která dělala povrch kovu lépe smáčitelným z hlediska kontaktního úhlu a jež byla prokázána hmotnostní zkouškou, anebo výsledné hodnoty byly ovlivněny chybou a přesností analytických vah a k odmaštění opravdu došlo. Měření kontaktního úhlu bylo velmi přesné a odchylky byly naprosto minimální.



Graf 8 - Znázornění nerezového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 5 °C; Zdroj: Vlastní

### **5.6.9 Ocelový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 22 °C**

Výsledné hodnoty úhlu smáčení při měření ocelového plíšku s použitím roztoku jaru při teplotě vody 22 °C se pohybovaly okolo 83°, což dle tabulky 1 značí, že se ocel řadí mezi dobře smáčitelný povrch. V prvním pokusu opět došlo ke stejné situaci jako u ostatních experimentů. Odchylka u prvního pokusu byla podstatně vyšší než u dalších pokusů v celém experimentu. Tato odchylka u prvního pokusu byla stanovena na  $\pm 4^\circ$ , zatímco u dalších pokusů již odchylka byla opravdu minimální. Tedy u prvního pokusu znovu nastala reakce zbytkového etanolu na povrchu kovu s vodou, při které docházelo k jejich vzájemnému mísení vlivem jejich polárního charakteru. U prvního pokusu je možnost také z grafu 9 vidět oscilování levého a pravého kontaktního úhlu, což je znázorněno ne příliš se překrývající červenou a modrou barvou. Oscilování levého a pravého kontaktního úhlu bylo pravděpodobně dáno špatně vyrovnanou podkladovou destičkou. Druhý pokus tohoto experimentu znázorňuje nanesení vosku na povrch kovu, čímž se snižuje smáčivost povrchu a zvyšuje kontaktní úhel. Další tři měření kontaktního úhlu při pokusech o odstranění vrstvičky vosku je možno opět spatřit v grafu 9 a také příloze 9. Kontaktní úhel těchto pokusů klesá. Na konci experimentu se vyskytuje malé navýšení průměrného úhlu smáčení. Jelikož se jedná o několik setin stupňů, je i z hlediska odchylek tato změna minimální a zanedbatelná. Opět je nutno podotknout, že při použití jaru nedocházelo k naprostému odmaštění povrchu kovu z hlediska hmotnostní ověřovací metody. Uvažuje se tedy o tom, že na povrchu kovu mohla buď ulpět vrstvička jaru, která byla prokázána hmotnostní ověřovací metodou, popřípadě nedošlo k úplnému odmaštění povrchu kovu, což je z hlediska určených hodnot kontaktních úhlů také pravděpodobné. Účinnost odmašťování z hlediska hmotnostní metody byla postupně stanovena na 63%, 83% a 99%.



Graf 9 - Znázornění ocelového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 22 °C; Zdroj: Vlastní

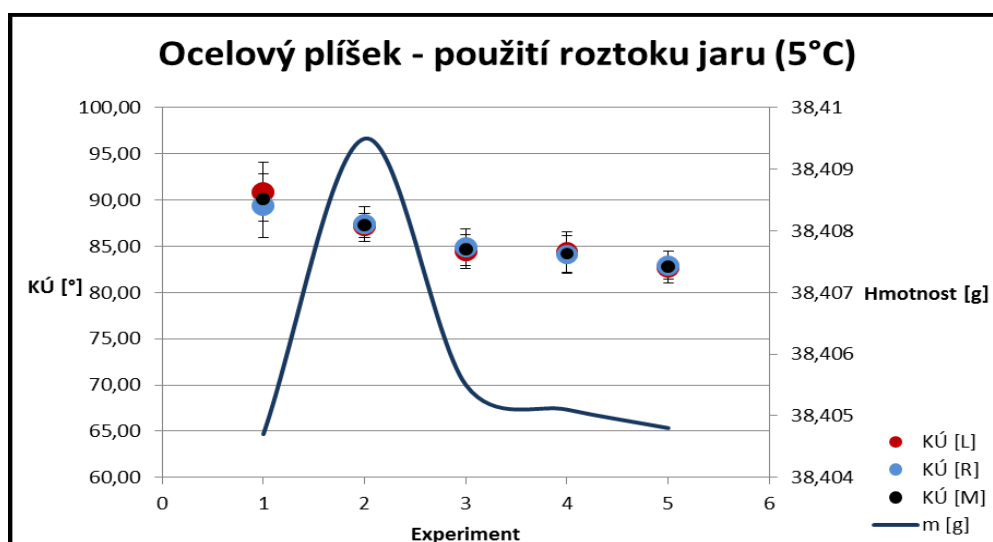
#### 5.6.10 Ocelový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 5 °C

Při tomto experimentu, kdy byla na rozdíl od předchozí podkapitoly 5.6.9 použita voda o teplotě 5 °C, bylo dle výsledných hodnot dosaženo zvýšení kontaktního úhlu a to vlivem teploty a viskozity kapaliny. Čím nižší teplota kapaliny, tím vyšší je její hustota, kapalina méně smáčí povrch kovu a kontaktní úhel je tak následně zvyšován. To samé platí pro viskozitu, čím vyšší je viskozita, tím vyšší je úhel smáčení. Opět tedy teorie je potvrzena výslednými hodnotami. Co se týče prvního měření kontaktního úhlu v tomto experimentu, pak pravděpodobně došlo ke změně volné entalpie, kdy vlivem teplotního růstu se zvyšovalo povrchové napětí a tak i hodnoty úhlů smáčení. Průměrná odchylka prvního měření nebyla příliš vysoká, pohybovala se okolo 3,22°. Z grafu 10 lze vyčíst, že došlo také k oscilování levého KÚ [L] a pravého kontaktního úhlu KÚ [P] a to pravděpodobně vlivem špatně vyrovnané podkladové destičky při měření. Odchylky ostatních pokusů jsou zanedbatelné. U druhého pokusu, po nanesení vrstvičky vosku na kovový povrch, je z grafu 10 a přílohy 10 patrné, že došlo k nárůstu hmotnosti i kontaktního úhlu a to s přihlédnutím k odchylce prvního pokusu. Další tři pokusy, měření po použití roztoku jaru, byly postupně nižší než předchozí úhel smáčení, jelikož při nich



Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

byla při každém použití tohoto odmašťovacího prostředku odstraněna určitá vrstvička vosku z povrchu kovu. Daný děj lze vidět i na grafu 10. Účinnost odmašťování ocelového plíšku byla postupně stanovena na 83%, 92%, 99%. Vzhledem k vyšší hodnotě kontaktního úhlu prvního pokusu vůči ostatním hodnotám dalších pokusů tohoto experimentu, lze hůře zjistit, zda k odmaštění povrchu kovu opravdu došlo, jelikož dle hmotnostní metody stále nebylo dosaženo původní hmotnosti kovu před nanesením vosku na jeho povrch.

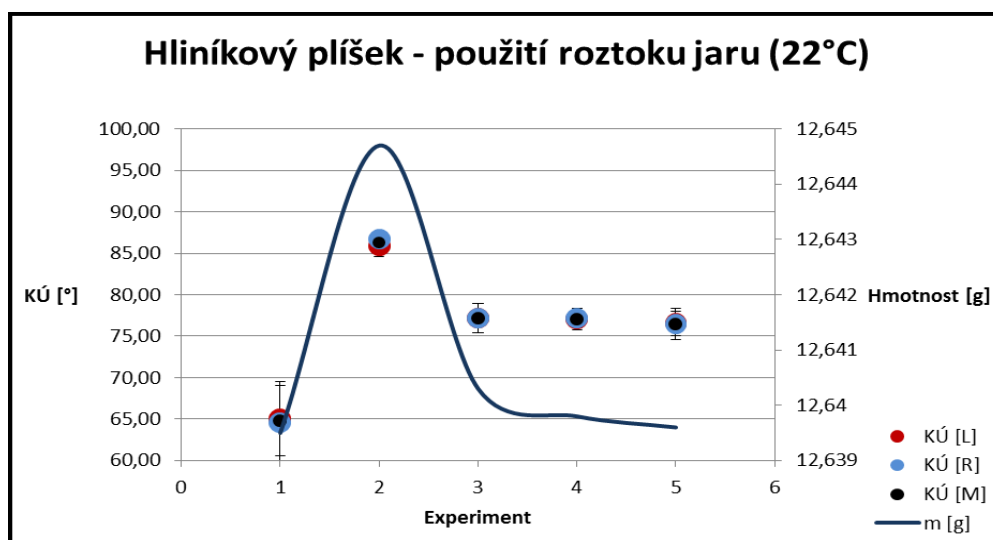


Graf 10 - Znázornění ocelového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 5 °C; Zdroj: Vlastní

### 5.6.11 Hliníkový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 22 °C

Výsledky z měření kontaktního úhlu u hliníkového plíšku při teplotě vody 22 °C se u čistého plíšku pohybovaly okolo 65°, což dle teorie řadí hliník do dobře smáčivých povrchů. V prvním pokusu byl kontaktní úhel velice nízký, je to dáno tím, že hliník je kov, který má odlišné vlastnosti oproti ostatním kovům. Jeho měrná tepelná kapacita je 2x vyšší než u oceli a nerezové oceli (viz tabulka 2). Také součinitel tepelné vodivosti je u něj cca 5x vyšší. Odchylka tohoto pokusu byla  $\pm 4,45^\circ$ . Bylo zmíněno, že odchylka je vůči ostatním pokusům vyšší i vzhledem k tomu, že při pokusu docházelo k mísení polárního

zbytkového etanolu s polární vodou. Při druhém měření kontaktního úhlu došlo k nárůstu úhlu smáčení vlivem nánosu vosku na povrch hliníkového plíšku (vidno na grafu 11 a v příloze 11). Jak již bylo zmíněno, vosk způsobuje nesmáčivost povrchu. Hmotnostní křivka také ukazuje nárůst hmotnosti v tomto pokusu. Další tři pokusy již probíhaly naprosto stejně jako u předchozích experimentů, kdy bylo odmašťováním dosaženo nižších hodnot kontaktních úhlů. Každopádně nebylo dosaženo naprostého vyčištění kovového povrchu, což je možno vidět i na grafu 11. To, že nebylo dosaženo naprostého odmaštění kovového plíšku, bylo také potvrzeno hmotnostní ověřovací metodou. Účinnost odmašťování kovového plíšku byla dle hmotnostní metody postupně stanovena na 85%, 94% a 99%. Odmašťování hliníkového plíšku probíhalo hůře a pomaleji, proto k úplnému odstranění nemuselo dojít nikdy. Odchyłky měření tohoto experimentu byly zanedbatelné.

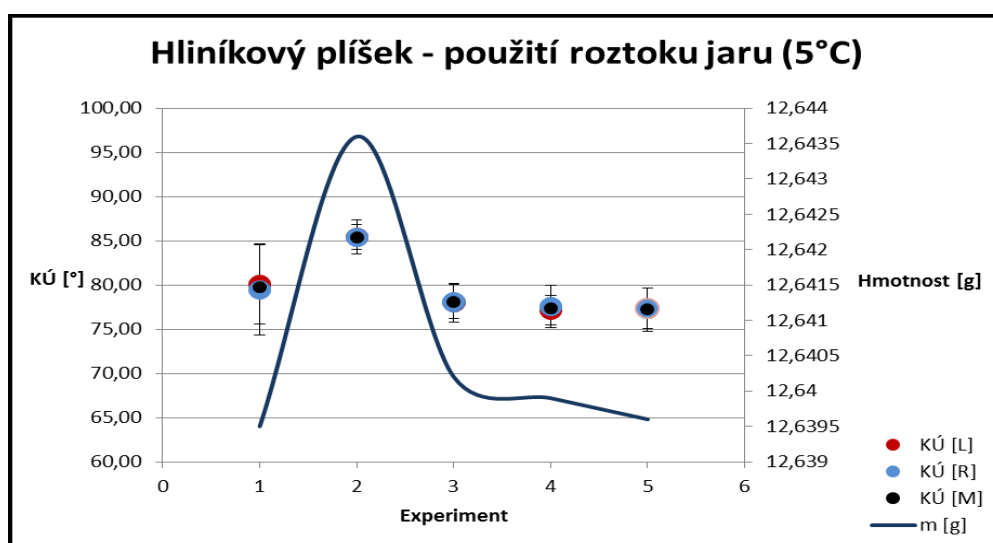


Graf 11 - Znázornění hliníkového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 22 °C; Zdroj: Vlastní

#### 5.6.12 Hliníkový plíšek s použitím roztoku jaru při teplotě vody 5 °C

Při měření úhlu smáčení na hliníkovém plíšku s použitím vody o teplotě 5 °C bylo dosaženo vyšší hodnoty kontaktního úhlu než u předchozího experimentu s vodou o teplotě 22 °C (podkapitola 5.6.11). Dle teoretických poznatků je to způsobeno tím, že se snižující

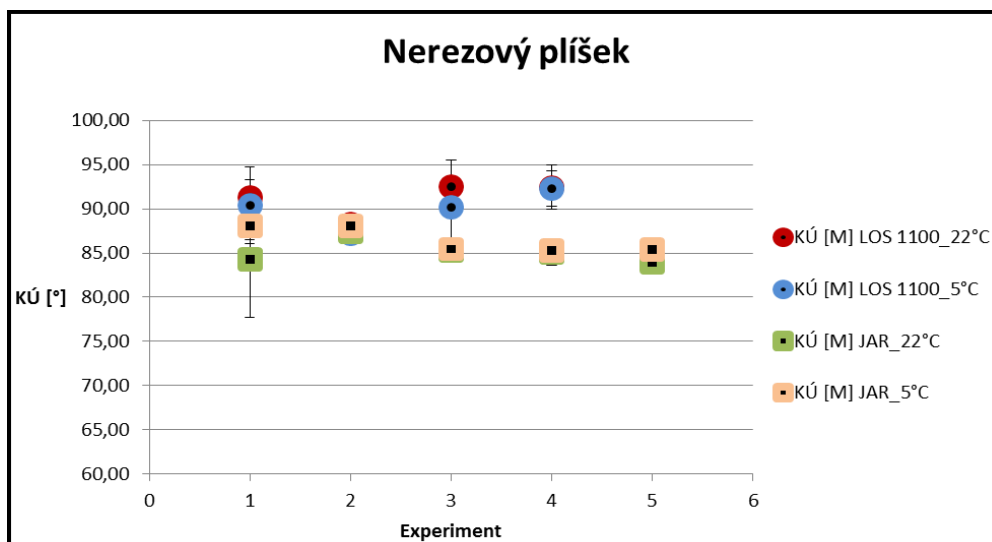
se teplotou média – vody, se zvyšuje její hustota a tím i hodnota kontaktního úhlu, jelikož studenější voda je méně smáčivá na povrchu. Odchylka prvního pokusu je opět vyšší  $\pm 4,75^\circ$  z důvodu mísení zbytkového etanolu a vody, protože obě tyto látky jsou polárního charakteru a jejich prolínání probíhá jednoduše. Při druhém pokusu, který je znázorněn také na grafu 12, byl opět navýšen úhel smáčení vlivem nanesení vrstvičky vosku na povrch hliníkového plíšku. Hmotnostní křivka kopíruje navýšení hodnot tohoto pokusu. Pokus 3, 4, 5 byl pokusem odmašťovacím při použití roztoku jaru o koncentraci 1:10 a jak lze vidět z grafu 12 a výsledných hodnot v příloze 12, úhel smáčení se postupně snižoval. Vlivem odmašťovače se změnilo povrchové napětí. Částice jaru od sebe odpuzovaly molekuly tuku, čímž mělo dojít k odmaštění daného povrchu kovu. Z výsledných hodnot kontaktních úhlů je patrné, že k odmaštění kovu opravdu došlo. Každopádně je zde otázka ověřovací hmotnostní metody. Ta neprokázala naprosté odmaštění povrchu kovu vzhledem k jeho hmotnosti. Proto na povrchu kovu mohla buď ulpět zbytková vrstvička jaru, která dělala povrch kovu lépe smáčitelným z hlediska kontaktního úhlu a jež byla prokázána hmotnostní zkouškou, anebo výsledné hodnoty byly pod vlivem chyb a přesností analytických vah (změna hmotnosti byla zaznamenána až na čtvrtém desetinném místě) a k odmaštění opravdu došlo. Účinnost odmašťování z hlediska hmotnostní metody byla postupně stanovena na 83%, 90% a 99%.



Graf 12 - Znázornění hliníkového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 5 °C; Zdroj: Vlastní

### **5.6.13 Nerezový plíšek v porovnání s použitými odmašťovacími metodami**

Odmašťování nerezového plíšku bylo podrobena dvěma metodám s rozdílnými přípravkami k odmašťování. Prvním z nich byl LOS 1100, v grafu 13 znázorněn červenými (22 °C) a modrými body (5 °C). Druhým odmašťovacím prostředkem byl roztok jaru, jenž je znázorněn v grafu 13 zelenými (22 °C) a růžovými body (5 °C). Již při prvním pokusu, při měření kontaktního úhlu před nanesením vrstvičky vosku, byl úhel smáčení u obou metod poměrně odlišný. Zvýšení úhlů smáčení u experimentu s přípravkem LOS 1100 bylo vyvoláno změnou volné entalpie nerezové oceli vlivem uvolňovaného tepla při reakci (mísení) etanolu s vodou. Proto se již na začátku vyskytuje rozdílnost měření a jeho následného hodnocení. U druhého pokusu je bez ohledu na vlastnosti úhel smáčení po nanesení vosku vždy stejný. V třetím pokusu již docházelo k odlišným hodnotám. Roztok jaru postupně odmašťoval nerezový plíšek, zatímco LOS 1100 způsoboval další reakci, vysvětlenou pod pojmem Zeta-potenciálu. Je důležité si také uvědomit, že dle hmotnostní metody došlo k odmaštění nerezové oceli pomocí odmašťovacího přípravku LOS 1100 jako první, tudíž nebylo nutno pokračovat v dalším odmašťování již po jeho druhém použití. Na rozdíl od toho, při odmašťování pomocí roztoku jaru, nebylo nikdy dosaženo původní hmotnosti nerezového plíšku jako na začátku experimentu. Proces odmašťování při použití roztoku jaru se opakoval třikrát, odmašťování nebylo tak snadné. Vrstvička vosku se odstraňovala hůře a pomaleji. Výsledné hodnoty úhlů smáčení však naznačují, že k odmaštění na původní hodnotu kontaktního úhlu opravdu došlo. Podle hmotnostní metody bylo odmašťování vyhodnoceno jako nejúčinnější při použití přípravku LOS 1100, avšak podle metody určování úhlu smáčení byl jako nejúčinnější vyhodnocen roztok jaru (bez ohledu na schopnost LOS 1100 odpuzovat vodu). Průměrné kontaktní úhly jdoucí po sobě u každého pokusu a každého experimentu s nerezovým plíškem jsou pro ukázkou znázorněny ve snímcích v příloze 13.

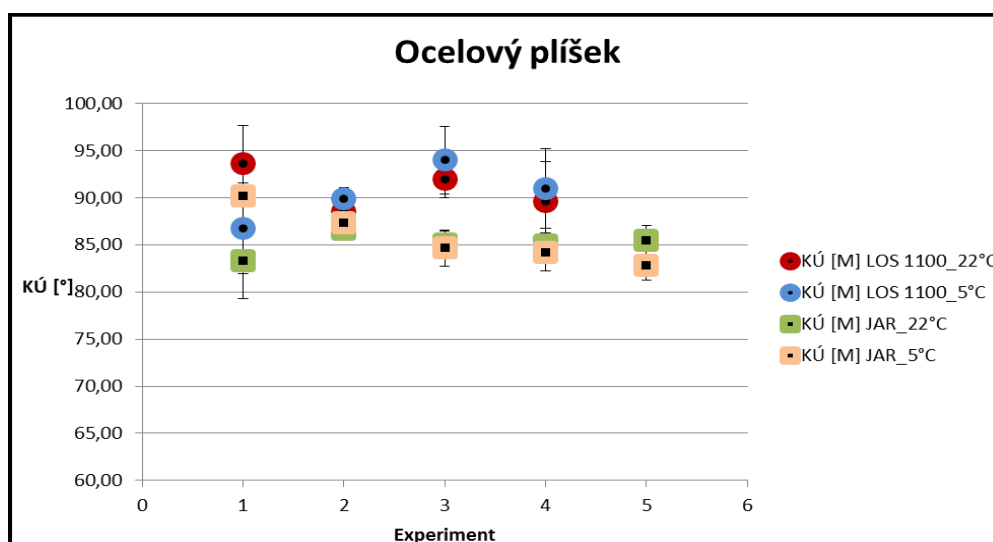


Graf 13 - Porovnání odmašťovacího přípravku LOS 1100 a roztoku jaru v experimentu na nerezovém plíšku; Zdroj: Vlastní

#### 5.6.14 Ocelový plíšek v porovnání s použitými odmašťovacími metodami

Odmašťování ocelového plíšku bylo podrobeno dvěma metodám s rozdílnými přípravkami k odmašťování. Prvním z nich byl LOS 1100, v grafu 14 znázorněn červenými (22 °C) a modrými body (5 °C). Druhým odmašťovacím prostředkem byl roztok jaru, jenž je znázorněn v grafu 14 zelenými (22 °C) a růžovými body (5 °C). Opět při prvním pokusu, při měření kontaktního úhlu před nanesením vrstvičky vosku, byl úhel smáčení u obou metod poměrně rozdílný. Změnou volné entalpie oceli, která vznikla pravděpodobně uvolněním tepla při mísení etanolu s vodou, bylo dosaženo toho, že kontaktní úhel při použití vody o teplotě 22 °C, byl vyhodnocen jako nejvyšší. Bylo nutné tedy toto ovlivnění brát v úvahu při hodnocení. U druhého pokusu se kontaktní úhel u všech experimentů pohyboval okolo stejné hodnoty, není nijak ovlivněn. U dalšího třetího pokusu již opět docházelo k odlišným hodnotám. Roztok jaru odstraňoval vrstvičku vosku z nerezového plíšku pomalu a s nižší účinností. Odmašťovací přípravek LOS 1100 účinně a rychle odstraňoval nečistoty z kovového povrchu, ale zároveň způsoboval další reakci, při které došlo k odpuzování micel odmašťovače a vody. Při hmotnostní zkoušce bylo

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou dosaženo odmaštění ocelového plíšku již po druhém použití přípravku LOS 1100, zatímco při použití roztoku jaru dosaženo původní hmotnosti nerezového plíšku nikdy nebylo. S cílem lepší účinnosti odmaštění povrchu kovu byl proces opakován třikrát. Průměrné kontaktní úhly jdoucí po sobě u každého pokusu a každého experimentu s ocelovým plíškem jsou pro ukázkou znázorněny ve snímcích v příloze 14.

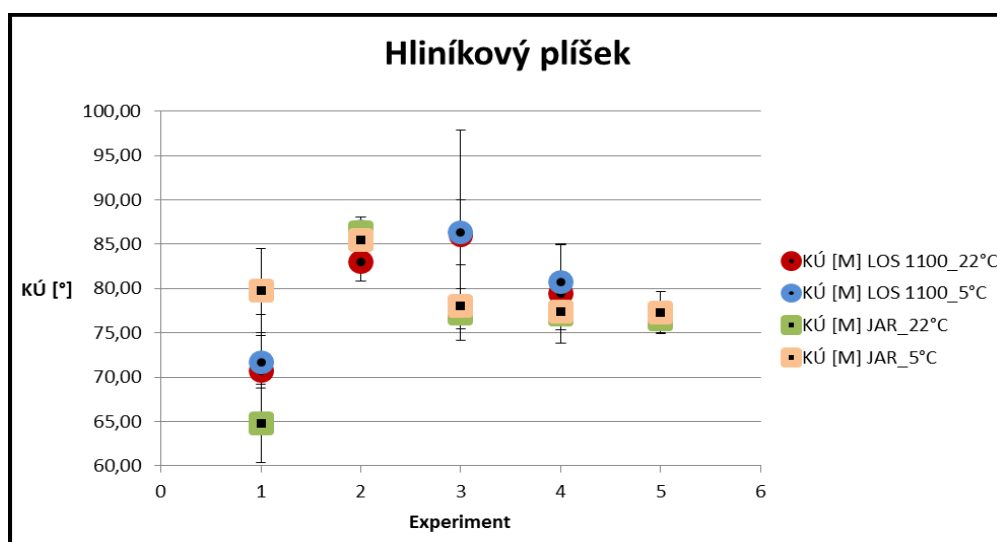


Graf 14 - Porovnání odmašťovacího přípravku LOS 1100 a roztoku jaru v experimentu na ocelovém plíšku; Zdroj: Vlastní

### 5.6.15 Hliníkový plíšek v porovnání s použitými odmašťovacími metodami

Odmašťování hliníkového plíšku bylo podrobena dvěma metodám s rozdílnými přípravkami k odmašťování. Prvním z nich byl LOS 1100, v grafu 15 znázorněn červenými (22 °C) a modrými body (5 °C). Druhým odmašťovacím prostředkem byl roztok jaru, jenž je znázorněn v grafu 15 zelenými (22 °C) a růžovými body (5 °C). Hned na první pohled bylo při prvním pokusu na hliníkovém plíšku dosaženo velmi nízkých hodnot kontaktních úhlů. Je to dáno tím, že vlastnosti hliníku jsou podstatně rozdílné oproti dalším dvěma materiálům. Součinitel tepelné vodivosti hliníku je až pětinasobkem oceli a nerezové oceli. Proto hliník lépe vede teplo a úhly smáčení tak dosáhly nižších hodnot. U druhého pokusu byl úhel smáčení u všech experimentů v podstatě stejný, což je

také vyznačeno na grafu 15 poměrně uskupenými body blízko sebe. V následujícím třetím pokusu byla opět zaznamenána odlišnost v měření. Vyskytuje se zde i vyšší odchylka měření u použití přípravku LOS 1100. U něj se stejně jako u ostatních materiálů projevila schopnost micel odmašťovače odpuzovat vodu. Pravděpodobně je to jedna z vlastností, která zaručuje ochranu proti korozi atd. Proto byl úhel smáčení při použití tohoto odmašťovače vždy navýšen. Každopádně účinnost odmašťování byla velmi dobrá, což dokládá i hmotnostní zkouška. Při které došlo hned při prvním použití k odmaštění 96-97% vosku z povrchu hliníkového plíšku. A při druhém použití LOS 1100 bylo dosaženo úplného 100% odmaštění povrchu kovu. Zatímco při použití roztoku jaru byl proces odmašťování podstatně pomalejší a hůře se vosk z povrchu kovu odstraňoval. Účinnost se také snížila, jelikož při prvním použití se odstranilo okolo 83 – 85% vosku z hliníkového plíšku, dalším použitím se odstranilo 90 – 94% vosku a po třetím použití bylo odstraněno 99% vosku z povrchu kovu. Což dle hmotnostní zkoušky značí, že hmotnost na konci experimentu neodpovídala hmotnosti na jeho začátku. Lepší účinnost odmaštění tak byla z hlediska hmotnostní metody přisuzována přípravku LOS 1100. Z hlediska určování kontaktního úhlu byla lepší účinnost odmašťování stanovena na základě jednoho dosažení počátečního úhlu smáčení v experimentu s roztokem jaru při teplotě vody 6 °C. Každopádně je nutno brát v potaz vliv Zeta-potenciálu u přípravku LOS 1100 u výsledného hodnocení účinnosti odmašťování stanovenou z kontaktních úhlů, jelikož k odstranění vosku z povrchu kovu došlo velmi rychle a velmi dobře. Průměrné kontaktní úhly jdoucí po sobě u každého pokusu a každého experimentu s hliníkovým plíškem jsou pro ukázkou znázorněny ve snímcích v příloze 15.



Graf 15 - Porovnání odmašťovacího přípravku LOS 1100 a roztoku jaru v experimentu na ocelovém plíšku; Zdroj: Vlastní



## 6. Shrnutí výsledků

Z dosažených výsledků, byly zaznamenány určité faktory, které ovlivňují úhel smáčení v experimentu:

- závislost výběru čistícího prostředku před začátkem měření vzhledem k používanému médiu (vody) a metoda jeho aplikace
- výběr média (vody) a jeho teplotní závislost na smáčivost povrchu
- viskozita média (vody) v závislosti na jeho teplotě
- tepelná kapacita kovu související se změnou volné entalpie
- drsnost povrchu kovu
- výběr použitého odmašťovacího prostředku a jeho aplikace

Výběr čistícího prostředku před začátkem měření vzhledem k používanému médiu je velice důležitý, protože jak bylo zaznamenáno v pokusech, může dojít vlivem jejich stejného polárního charakteru k jejich mísení, což následně dává vyšší odchylky v měření a přináší tak méně přesné výsledky experimentů. Pokud se při experimentu používá voda jako médium, je nutno si uvědomit, že rozdílnost teploty vede k rozdílným výsledkům měření. Jelikož vyšší teplota kapaliny má nižší hustotu a více smáčí povrch, čili kontaktní úhel by ve výsledku měl být menší. S teplotou vody se mění také její viskozita, čím vyšší je teplota vody tím nižší je smáčivost, nižší úhel smáčení v experimentu. Každý kov má jiné vlastnosti a jinak vede teplo, následkem toho dochází k rozdílnému předávání tepla kapalině, čímž se opět odlišně mění smáčivost zkoumaných kovů. Drsnost povrchu je opět jednou z vlastností, která ovlivňuje úhel smáčení. U drsnosti závisí na velikosti rýh, a zda jsou rýhy vyplněny při aplikaci kapky vody vzduchem či nikoliv (Wenzelova a Cassieho teorie). Jako poslední důležitý faktor, který může ovlivňovat měření kontaktního úhlu, je výběr odmašťovacího prostředku. Zde záleží na typu odmašťovadla, a jak je odmašťovadlo

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou aplikováno. Pokud je odmašťovadlo organické a vosk také, pak reakce probíhá rychleji. Záleží i na tom, jaké vlastnosti odmašťovadlo má. Pokud má vlastnost odpuzovat vodu, pak se to projeví i na výsledném kontaktním úhlu. Také jeho aplikace je podstatná. Jelikož některé odmašťovací prostředky mají nižší účinnost při odmašťování a je nutno použít určitou mechanickou sílu.

## 7. Závěr

Při měření úhlu smáčení existuje mnoho příčin, které jej ovlivňují. K tomu, aby byl popsán proces odmašťování, se v nynější době využívá hmotnostní metoda a doplňuje se o metodu určování kontaktního úhlu. Následně je pak prováděna korelace hmotnosti a úhlu smáčení jako určitý způsob přesnějšího hodnocení.

V diplomové práci byla provedena zkouška o rozpustnosti vosku v etanolu. Bylo potvrzeno, že reakce mezi etanolem a voskem opravdu existuje, ale z výsledků v grafech lze usoudit, že tato reakce etanolu s voskem na výsledné hodnoty nemá vliv, jelikož děje byly ovlivněny jinými reakcemi, které v naší studii hrály důležitější roli, protože daleko více ovlivňovaly kontaktní úhel, který byl naměřen. Lze tak soudit vzhledem k přesnému měření kontaktního úhlu po nanesení vrstvičky vosku vůči ostatním naměřeným úhlům smáčení.

Při budoucím měření kontaktního úhlu je vhodné na začátku experimentu očistit kovový plíšek například pomocí ultrazvuku, pro jeho hloubkové čištění, zamezilo by se tak nežádoucím reakcím vznikajícím již na počátku měření a ovlivňujícím tak hodnocení celého experimentu.

S přihlédnutím k odchylkám mohlo dojít v určitých pokusech k dokonalému odstranění vrstvičky vosku a tedy k úspěšnému dosažení výchozí hodnoty úhlu smáčení, tím se myslí úhel smáčení na začátku celého experimentu.

Zkoumané kovy byly vyhodnoceny dle teorie jako dobře smáčitelné materiály. Každopádně i s odlišně naměřenými hodnotami o cca 20°, stále spadaly do jedné skupiny, a to vlivem velkého rozsahu kontaktního úhlu v stupnici hodnocení (0°, 0°-90°, 90°-180°, 180°). Proto se zde nabízí možnost stupnici hodnocení smáčivosti ještě více rozdělit. Každopádně je nutno vzít v potaz smáčedlo, které je při experimentech používáno a jeho teplota.

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

Testy se zaměřovaly na určování úhlu smáčení, při kterých se volily 3 materiály, 2 odmašťovadla a 2 rozdílné teploty vody. Pro budoucí experimenty se tak doporučuje sériové testování na jednom kovovém plíšku pro jistější určení úhlu smáčení, a to vzhledem k reakcím, které tento naměřený kontaktní úhel ovlivňují.

## Seznam použité literatury

- [1] BARTOVSKÁ, Lidmila a Marie ŠÍŠKOVÁ. *Fyzikální chemie povrchů a koloidních soustav*. Praha. ISBN 978-80-7080-745-3.
- [2] *Kohezí síly v kapalinách - povrchové napětí: kapilarita, povrchové napětí, jevy na rozhraních* [online]. In: [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://imhfyzikafbi.wz.cz/prednaskyAFpdf/kapilarita.pdf>
- [3] *Wikiwand: Povrchové napětí* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://www.wikiwand.com/cs/Povrchov%C3%A9\\_nap%C4%Bt%C3%AD](http://www.wikiwand.com/cs/Povrchov%C3%A9_nap%C4%Bt%C3%AD)
- [4] *Povrchová síla, povrchové napětí* [online]. In: . [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/ucebnice/02%20Fyzika%20S%C5%A0/02%20Molekulov%C3%A1%20fyzika%20a%20termika/05%20Kapaln%C3%A9%20skupenstv%C3%AD/01%20Povrchov%C3%A1%20s%C3%ADla,%20povrchov%C3%A9%20nap%C4%Bt%C3%AD.pdf>
- [5] *Povrchová vrstva kapaliny*. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/639-povrchova-vrstva-kapaliny>
- [6] *Povrchová síla, povrchové napětí* [online]. In: . [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://files.gkvr-f2.webnode.cz/200000053-da18edbea9/6.2%20Povrchov%C3%A1%20s%C3%ADla,%20povrchov%C3%A9%20nap%C4%Bt%C3%AD.pdf>
- [7] *Kontaktní úhel - úhel smáčivosti*. In: *Optikarium: Svět oční optiky a optometrie* [online]. 2014 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.optikarium.cz/kontaktni-cocky-a-roztoky/kontaktni-uhel-smacivost>
- [8] *Nanomateriály a jejich charakterizace (2+0), navazující Mrg. 1 roč. ZS, CN349, Čt 9-11: 2. přednáška* [online]. In: 2012 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6568495-Nanomaterialy-a-jejich-charakterizace-2-0-navazujici-mrg-1-roc-zs-cn349-ct-9-11.html>
- [9] BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-802-4747-125.

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

[10] *Povrchové a adsorpční jevy: Termodynamická definice* [online]. In: . Masarykova univerzita, 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1411/jaro2010/BVBE021p/um/LXF\\_Povrchove\\_a\\_adsorpcni\\_jevy.pdf](https://is.muni.cz/el/1411/jaro2010/BVBE021p/um/LXF_Povrchove_a_adsorpcni_jevy.pdf)

[11] 12.1 Fázová rozhraní. In: *Příklady z fyzikální chemie online* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/fch/prikkladnik/prikkladnik/p.12.1.html>

[12] *Fázové rozhraní* [online]. In: [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://dirk.kmi.tul.cz/depart/ktc/include/osobni\\_stranky/vikova.martina/teaching/9smac1.pdf](http://dirk.kmi.tul.cz/depart/ktc/include/osobni_stranky/vikova.martina/teaching/9smac1.pdf)

[13] Ramé-hart: Information on Contact Angle. In: *Ramé-hart: contact angle goniometers and tensiometers* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.ramehart.com/contactangle.htm>

[14] HOLUB, Jiří. *Smáčivost povrchu vůči kapalinám a druhá viskozita kapalin* [online]. Brno, 2010 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29171](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29171). Bakalářská práce. Ing. Simona Fialová, PhD.

[15] Water and its properties. In: *Chemistry* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://chemistryfortheaverage teenager.weebly.com/water-and-its-properties.html>

[16] *Molekulové jevy* [online]. In: . 2012 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199\\_3\\_1%20Molekulove%20jevy.pdf](http://artemis.osu.cz:8080/artemis/uploaded/199_3_1%20Molekulove%20jevy.pdf)

[17] Ramé-hart: Glossary of Surface Science Terms. In: *Ramé-hart: contact angle goniometers and tensiometers* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.ramehart.com/glossary.htm>

[18] KLÍMA, Miloš, Eva KADREŇOVÁ a Tomáš SVOBODA. *Moderní plazmo - chemické postupy pro konzervování - restaurování předmětů kulturního dědictví* [online]. In: [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.sci.muni.cz/chemsekce/frvs2011/pdf/plazma.pdf>

[19] *Úhel smáčení: contact angle* [online]. In: . Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/hesla/uhel\\_smaceni.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/uhel_smaceni.html)

[20] SVOBODA, Jakub. *Studie vlivu povrchové energie různých druhů kapalin a povrchů - experiment* [online]. Brno, 2007 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=4897](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=4897). Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Simona Fialová, PhD.

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

[21] ROSALES-LEAL, J.I. et. al. Effect of roughness, wettability and morphology of engineered titanium surfaces on osteoblast-like cell adhesion. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects: An International Journal Devoted to the Principles and Applications of Colloid and Interface Science* [online]. 2009 [cit. 2017-04-04]. ISSN 0927-7757. Dostupné z: <https://www.journals.elsevier.com/colloids-and-surfaces-a-physicochemical-and-engineering-aspects>

[22] NOSONOVSKY, Michael a Bharat BHUSHAN. Roughness-induced superhydrophobicity: a way to design non-adhesive surfaces. *Journal of Physics: Condensed Matter* [online]. 2008, 20(22) [cit. 2017-04-22].

[23] POLČÍK, Martin. SLEDOVÁNÍ NANÁŠENÍ BARVIVA POMOCÍ MĚŘENÍ ZETA-POTENCIÁLU: Zeta-potenciál. In: *CHEMAGAZÍN* [online]. Praha, 2010 [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: [http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin\\_2010/file/CHXX\\_4\\_cl9.pdf](http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/CHXX_4_cl9.pdf)

[24] JANČÍK, Milan. *Měření kontaktního úhlu u malých kapek pomocí skenovacího mikroskopu* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11290/jan%C4%8D%C3%ADk\\_2010\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11290/jan%C4%8D%C3%ADk_2010_dp.pdf?sequence=1). Diplomová práce.

[25] LANGER, Petr. *Studium smáčivosti práškových materiálů Wilhelmyho metodou* [online]. Olomouc, 2012 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11290/jan%C4%8D%C3%ADk\\_2010\\_dp.pdf?sequence=1](http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/11290/jan%C4%8D%C3%ADk_2010_dp.pdf?sequence=1). Bakalářská práce. Vedoucí práce Doc. RNDr. Libor Kvítek, CSc.

[26] *Měření úhlu smáčení: measurement of contact angle* [online]. In: . Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/hesla/mereni\\_uhlu\\_smaceni.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_uhlu_smaceni.html)

[27] YUAN, Yuehua a T. Randall LEE. *Contact Angle and Wetting Properties* [online]. In: . 2013 [cit. 2017-04-04]. DOI: 10.1007/978-3-642-34243-1\_1. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-34243-1\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-34243-1_1)

[28] *Vzestup kapaliny na svislé destičce: capillary rise at vertical plate* [online]. In: . Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/hesla/metody.elevace\\_na\\_desce.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/metody.elevace_na_desce.html)

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

[29] AHMAD, Ishaq a Chi-wai KAN. *A Review on Development and Applications of Bio-Inspired Superhydrophobic Textiles* [online]. In: . 2016 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1996-1944/9/11/892/htm>

[30] *Kapilarita* [online]. In: . 2010 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://kvinta.html.wz.cz/fyzika/termodynamika/struktura\\_a\\_vlastnosti\\_kapalin/kapilarita.htm](http://kvinta.html.wz.cz/fyzika/termodynamika/struktura_a_vlastnosti_kapalin/kapilarita.htm)

[31] *Metoda vyvažování Wilhelmyho destičky: Wilhelmy plate method* [online]. In: . Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/hesla/metody.vyvazovani\\_desky.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/metody.vyvazovani_desky.html)

[32] *Analyza profilu kapky (ADSA): Axisymmetric Drop Shape Analysis (ADSA)* [online]. In: . Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/hesla/metody.analyza\\_profilu\\_kapky-adsa-.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/metody.analyza_profilu_kapky-adsa-.html)

[33] KRÁSNÝ, Ivo. *Měření kontaktních úhlů smáčení a určování povrchové energie plastů* [online]. Zlín, 2010 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14169/kr%C3%A1sn%C3%BD\\_2010\\_dp.pdf?sequence=1](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14169/kr%C3%A1sn%C3%BD_2010_dp.pdf?sequence=1). Diplomová práce. Vedoucí práce Prof. Ing. Lubomír Lapčík, PhD.

[34] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1217-7.

[35] EKENGREN, Öskar et. al. *Environmentally acceptable metalworking processes*. 2002. ISBN 92-893-0777-3.

[36] KOPŘIVA, Andreas. *Porovnání účinnosti odmašťovacích prostředků* [online]. Praha, 2015 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63519/F2-BP-2015-Kopriva-Andreas-BPAndreasKopriva.pdf?sequence=-1>. Bakalářská práce. Vedoucí práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.

[37] KUBÁTOVÁ, Hana. *Nátěry kovů*. Praha: Grada, 2000. Profi. ISBN 80-247-9035-1.

[38] *Odmašťování kovů*. In: *LakovnaKapitanka.cz* [online]. 2015 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.kapitankalakovna.cz/odmastovani-kovu/>

[39] ČSN EN 13887: *Konstrukční lepidla - Směrnice pro přípravu povrchu kovů a plastů před lepením*. 2004.

[40] *Povrchové úpravy, koroze, kvalita, legislativa, ekologie. Povrcháři: online časopis* [online]. 2008, (5) [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: [http://www.povrchari.cz/kestazeni/200805\\_povrchari.pdf](http://www.povrchari.cz/kestazeni/200805_povrchari.pdf)



[41] MUSÍLEK, Pavel. *Technologie mytí strojních součástí* [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: [https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjKx87O7IvTAhWE3SwKHaTsCqEQFggBMAA&url=http%3A%2F%2Fis.mendelu.cz%2Fzpportal\\_zp.pl%3Fprehled%3Dvyhledavani%3Bpodrobnosti%3D31060%3Bdownload\\_prace%3D1&usg=AFQjCNERuQ38N5CMpDotqto-YqAcTdJfVg&sig2=MlXnZOOhux\\_sTRJB\\_tpquIg&cad=rja](https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjKx87O7IvTAhWE3SwKHaTsCqEQFggBMAA&url=http%3A%2F%2Fis.mendelu.cz%2Fzpportal_zp.pl%3Fprehled%3Dvyhledavani%3Bpodrobnosti%3D31060%3Bdownload_prace%3D1&usg=AFQjCNERuQ38N5CMpDotqto-YqAcTdJfVg&sig2=MlXnZOOhux_sTRJB_tpquIg&cad=rja). Bakalářská práce. Vedoucí práce Doc. Ing. Vlastimil Chrást, PhD.

[42] ŠIŠPEROVÁ, Michaela. Organická rozpouštědla a možnosti jejich zpracování. In: *Průmyslové spektrum: Strojírenský měsíčník přinášející aktuální technické informace z tuzemska i ze zahraničí* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://m.mmspektrum.com/clanek/organicka-rozpoustedla-a-moznosti-jejich-zpracovani>

[43] Předúprava povrchu před lakováním. In: *Salum: Strojírenský měsíčník přinášející aktuální technické informace z tuzemska i ze zahraničí* [online]. 2003 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.salum.cz/index.php/salum-praskove-lakovani-praskova-lakovna-komaxitovani-komaxit-5/40-salum-preduprava-povrchu-pred-lakovanim-praskove-mokre>

[44] Látka: Trichlorethylen. In: *Integrovaný registr znečišťování: Ministerstvo životního prostředí České republiky* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/100>

[45] Typy předúprav. In: *Color* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.okcolor.cz/technologie/typy-preduprav/>

[46] GAVENDOVÁ, Lenka. *Pasivace a korozní ochrana kovových materiálů* [online]. Brno, 2010 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: [http://is.muni.cz/th/269435/prif\\_b/bc\\_prace.pdf](http://is.muni.cz/th/269435/prif_b/bc_prace.pdf). Bakalářská práce. Vedoucí práce Doc. RNDr. Libuše Trnková.

[47] VONDRUŠ, Jiří. *Návrh a konstrukce modelu automatické galvanizační linky* [online]. Brno, 2008 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=8458](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=8458). Diplomová práce. Vedoucí práce Ing. Petr Melichar.

[48] Cathodic electrolytic cleaning and degreasing with aqueous alkali media. In: *Elhco: electroless hard coat, s.a.* [online]. 2017 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://elhco.com/en/cathodic-electrolytic-cleaning-degreasing-aqueous-alkali-media/>

[49] Best Aluminium Cleaner that Cleans & Brightens!. In: *Power clean: Eco-Friendly, Safe and Cost Effective Cleaning Solutions. Suppliers of Degreasing Chemicals, Cleaning Chemicals, Spray & Ultrasonic Cleaners* [online]. [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.powerclean.in/aluminium-cleaner.aspx>

[50] FLEGFACTOR-NF. In: *Unifleg: ..universala flegado en industrial* [online]. 2012 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.unifleg.cz/c-povrchove-upravy/>

[51] MANDICH, N. V. *Surface Preparation of Metals Prior to Plating* [online]. In: . 2002 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.nmfr.org/pdf/sf2002/sf02s02.pdf>

[52] SPARKS, John. *The Basics of Alkaline In - Process Cleaning for Metal Substrates* [online]. In: . [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://infohouse.p2ric.org/ref/12/11201.pdf>

[53] Formulace mikrofiltrovatelných odmašťovacích lázní - 2. část. In: *Tribotechnika: časopis o trení, opotrebování a mazání* [online]. TechPark [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42013/formulace-mikrofiltrovatelnych-odmastovacich-lazni-2-cast.html>

[54] *Emulgátor: emulsifier* [online]. In: . Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2005 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://147.33.74.135/knihy/uid\\_es-001/hesla/emulgator.html](http://147.33.74.135/knihy/uid_es-001/hesla/emulgator.html)

[55] Využití ultrazvuku trochu jinak. In: *Vyvoj.hw.cz: profesionální elektronika* [online]. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2000 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/uplne-neprakticke-veci/vyuziti-ultrazvuku-trochu-jinak.html>

[56] Parní čištění a renovace povrchů horkou párou. In: *Očista prostor cz: Profesionální renovace a ochrana povrchů* [online]. 2016 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <https://www.ocista-prostor.cz/renovace-a-cisteni-povrchu>

[57] ŠMIDRKAL, Jan. *Tenzidy a detergenty dnes* [online]. In: . Praha, 1999 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999\\_07\\_421-427.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_07_421-427.pdf)

[58] General Cleaners: Technical Help. In: *Essential Industries: Innovation is Essential* [online]. Merton, Wisconsin USA, 2016 [cit. 2017-04-04]. Dostupné z: <http://www.essind.com/general-cleaners/the-chemistry-of-cleaning/>

[59] Quality Tensiometry Products: Optical Tensiometers. In: *Biolin Scientific* [online]. 2016 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.biolinscientific.com/attension/products/?card=AP4>

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

[60] *Nerezová ocel - typy a jejich vlastnosti: Druhy oceli a jejich vlastnosti* [online]. In: . [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.postovni-schranky.eu/eshop/info/nerezova-ocel---typy-a-jejich-vlastnosti>

[61] Hlavní skupiny nerezových ocelí. In: *TERAPOL* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.terapol.cz/clanek/no-vap-hlavni-skupiny>

[62] Výroba a vlastnosti oceli. In: *DM Mont: Montované haly* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.dmmont.cz/clanky/ocel/vlastnosti-oceli/>

[63] VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-600-1.

[64] Ocel 12 050. In: *Fakulta strojního inženýrství: Ústav strojírenské technologie* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze\\_modelu\\_soubory/ocel\\_12050.3.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/databaze_modelu_soubory/ocel_12050.3.pdf)

[65] ŠIMEČEK, Ondřej. *Hliník - Al* [online]. In: . [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://mail.zsebenese.opava.cz/tabulka/al.html>

[66] SLAVÍČEK, Jiří. *Hliník a jeho slitiny v automobilovém průmyslu* [online]. Brno, 2011 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=38353](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38353).  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel Němčec, Ph.D.

[67] Hodnoty fyzikálních veličin vybraných kovů: hustota, tepelná vodivost, tepelná kapacita, roztažnost. In: *Tzbinfo* [online]. 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/37-hodnoty-fyzikalnich-velicin-vybranych-kovu>

[68] Materiálové vlastnosti. In: *Kompozity - vyztužené plasty: Alternativa k tradičním materiálům* [online]. 2009 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.gdpkoral.cz/materialove-vlastnosti/p126>

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

[69] Čistič průmyslový Premium LOS 1100/1000. In: *PLOBERGER: Solutions for professionals* [online]. [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://shop.ploberger.cz/D-lensk-pot-eby/istic-a-ochrann-prost-edky/isti-brzd-1.html>

[70] Jar Lemon 1,5l: Mycí prostředky. In: *Kasa.cz* [online]. Zlín, 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <https://www.kasa.cz/jar-lemon-1-5l/>

[71] Lipidy. In: *E-ChemBook: Multimediální učebnice chemie* [online]. 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://e-chembook.eu/lipidy>

[72] Databáze chemických pokusů: Rozpustnost lipidů. In: *Portál PŘF UK na podporu výuky chemie na ZŠ a SŠ* [online]. Praha, 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.studiumchemie.cz/pokus.php?id=151>

[73] Regina jelení lůj: Popis. In: *Drogerie Domů CZ* [online]. 2017 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://www.drogerie-domu.cz/index.php?route=product/product&product\\_id=1326](http://www.drogerie-domu.cz/index.php?route=product/product&product_id=1326)

[74] MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 1995. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). ISBN 80-85849-84-4.

[75] *Zkvalitňování výuky chemie a biologie na GJO: Voda jako chemicky čistá látka, směs i rozpouštědlo* [online]. In: . [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://chemiebiologie.gjo.cz/PLchemie/NL05.pdf>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Znázornění mezifázových energií a kontaktního úhlu .....	4
Obrázek 2 - Znázornění výpočtu změny plochy fázového rozhraní .....	5
Obrázek 3 - Znázornění kohezních a adhezních sil .....	8
Obrázek 4 - Wenzelova a Cassieho teorie .....	9
Obrázek 5 - Ukázka měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce .....	12
Obrázek 6 - Ukázka dalšího způsobu měření kontaktního úhlu na naklánějící se destičce.	13
Obrázek 7 - Ukázka měření a) přisedlé kapky na pevném povrchu a b) přilínající bubliny na pevném povrchu v kapalině .....	13
Obrázek 8 - Schéma metody měření kontaktního úhlu přisedlé kapky pomocí počítače ....	14
Obrázek 9 - Měření výšky vzestupu kapaliny na svislé destičce jako pomocná metoda při získávání kontaktního úhlu .....	15
Obrázek 10 - Ukázka Wilhelmyho metody vyvažování destičky.....	17
Obrázek 11 - Ukázka metody ADSA, měření kontaktního úhlu na základě geometrických parametrů .....	19
Obrázek 12 - Analýza kapky při metodě ADSA vycházející z výšky a poloměru kapky ...	20
Obrázek 13 - Mechanismus procesu odmaštění kovové součástky pomocí povrchově aktivních látek.....	29
Obrázek 14 - Attension Theta .....	30
Obrázek 15 - Snímky z přístroje Attension Theta ukazující rozdíl při měření kontaktního úhlu KÚ [M] s odlišností až 10° .....	42

Obrázek 16 - Chybný úhel smáčení $36,84^\circ$ .....	45
--	----

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1 - Rozdělení smáčení.....	6
Tabulka 2 - Fyzikální vlastnosti zkoumaných kovových plíšků.....	33

## Seznam grafů

Graf 1 - Znázornění nerezového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a teplotě vody 22 °C.....	39
Graf 2 - Znázornění nerezového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a teplotě vody 5 °C.....	40
Graf 3 - Znázornění ocelového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a teplotě vody 22 °C.....	42
Graf 4 - Znázornění ocelového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a teplotě vody 5 °C.....	43
Graf 5 - Znázornění hliníkového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a při teplotě vody 22 °C .....	45
Graf 6 - Znázornění hliníkového plíšku po použití odmašťovacího přípravku LOS 1100 a při teplotě vody 5 °C .....	47
Graf 7 - Znázornění nerezového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 22 °C.....	48
Graf 8 - Znázornění nerezového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 5 °C.....	49
Graf 9 - Znázornění ocelového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 22 °C.....	51
Graf 10 - Znázornění ocelového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 5 °C.....	52
Graf 11 - Znázornění hliníkového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 22 °C ...	53
Graf 12 - Znázornění hliníkového plíšku po použití roztoku jaru při teplotě vody 5 °C .....	54
Graf 13 - Porovnání odmašťovacího přípravku LOS 1100 a roztoku jaru v experimentu na nerezovém plíšku .....	56

Kristýna Králová: Vyhodnocení účinnosti odmašťování povrchů kovů online metodou

Graf 14 - Porovnání odmašťovacího přípravku LOS 1100 a roztoku jaru v experimentu na ocelovém plíšku ..... 57

Graf 15 - Porovnání odmašťovacího přípravku LOS 1100 a roztoku jaru v experimentu na ocelovém plíšku ..... 59



# **PŘÍLOHA 1 – Vyhodnocená data pro nerezový plíšek při použití LOS 1100 a vody o teplotě 22 °C**

	Nerezový plíšek - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	92,15	89,19	95,03	87,70	90,03	93,33	92,36	92,75	90,56	91,46	2,14	22	50,2544	
KÚ [R]	92,23	89,33	93,30	87,81	91,10	93,67	92,06	92,31	89,04	91,20	1,92			
KÚ [M]	92,19	89,26	94,17	87,75	90,57	93,50	92,21	92,53	89,80	91,33	1,99			
Vol [ul]	14,0	14,7	14,7	14,7	14,3	14,5	14,3	14,3	13,7	14,34	0,33			
	Nerezový plíšek po nanesení vosku - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	88,63	88,76	88,32	88,03	88,12	88,86	86,48	89,05	87,49	88,19	0,76	22	50,2610	
KÚ [R]	87,18	88,08	88,78	86,55	89,64	90,34	87,51	88,72	87,97	88,31	1,13			
KÚ [M]	87,90	88,42	88,55	87,29	88,88	89,60	87,00	88,89	87,73	88,25	0,79			
Vol [ul]	13,8	14,0	14,0	14,1	13,9	14,0	13,8	14,2	14,0	13,97	0,13			
	Nerezový plíšek po 1. použití LOS 1100 - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	88,39	92,14	92,03	90,92	91,54	90,50	92,49	98,53	96,70	92,58	2,96	22	50,2555	83
KÚ [R]	91,46	91,48	92,12	91,01	88,72	89,73	90,73	99,55	96,85	92,41	3,30			
KÚ [M]	89,92	91,81	92,08	90,97	90,13	90,11	91,61	99,04	96,78	92,49	3,03			
Vol [ul]	14,1	13,9	13,7	13,8	14,2	14,2	13,8	12,9	13,8	13,81	0,38			
	Nerezový plíšek po 2. použití LOS 1100 - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	91,92	88,30	93,87	93,82	96,67	91,41	93,93	91,82	90,69	92,49	2,26	22	50,2544	100
KÚ [R]	91,81	90,77	95,88	96,79	92,82	91,51	95,25	92,08	84,70	92,40	3,38			
KÚ [M]	91,86	89,54	94,87	95,30	94,75	91,46	94,59	91,95	87,69	92,45	2,51			
Vol [ul]	13,4	14,5	13,8	13,8	14,0	14,2	14,1	14,1	15,5	14,15	0,56			

## PŘÍLOHA 2 – Vyhodnocená data pro nerezový plíšek při použití LOS 1100 a vody o teplotě 5 °C

	Nerezový plíšek - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	91,13	85,83	81,84	94,62	94,43	95,61	88,63	92,34	90,53	90,55	4,25	5	50,2544	
KÚ [R]	89,46	85,78	81,62	95,98	95,06	95,08	88,56	91,11	89,02	90,19	4,46			
KÚ [M]	90,29	85,81	81,73	95,30	94,74	95,34	88,60	91,73	89,77	90,37	4,33			
Vol [ul]	13,4	14,0	14,4	13,8	13,9	13,9	14,8	14,3	14,3	14,09	0,39			
	Nerezový plíšek po nanesení vosku - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	89,08	88,76	87,00	86,48	85,22	85,83	88,84	86,39	88,72	87,37	1,40	5	50,2615	
KÚ [R]	88,11	86,61	85,84	86,93	85,65	86,31	88,70	86,48	88,19	86,98	1,03			
KÚ [M]	88,59	87,69	86,42	86,71	85,44	86,07	88,77	86,44	88,45	87,18	1,16			
Vol [ul]	14,3	14,4	14,1	14,4	15,2	14,3	14,4	14,3	14,4	14,43	0,29			
	Nerezový plíšek po 1. použití LOS 1100 - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	96,71	91,60	89,90	88,57	86,22	83,58	88,93	94,83	88,56	89,88	3,82	5	50,2546	97
KÚ [R]	94,25	91,02	89,09	89,27	88,68	84,63	89,58	96,92	90,31	90,42	3,29			
KÚ [M]	95,48	91,31	89,50	88,92	87,45	84,10	89,26	95,87	89,43	90,15	3,49			
Vol [ul]	14,5	13,9	13,7	13,8	14,2	14,2	14,3	14,6	14,5	14,18	0,31			
	Nerezový plíšek po 2. použití LOS 1100 - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	91,16	94,37	94,52	94,58	92,00	93,17	87,93	91,87	89,77	92,15	2,16	5	50,2544	100
KÚ [R]	93,01	94,20	94,19	94,34	93,30	92,48	88,15	92,13	90,32	92,46	1,94			
KÚ [M]	92,08	94,29	94,36	94,46	92,65	92,83	88,04	92,00	90,04	92,30	2,02			
Vol [ul]	14,3	14,4	14,2	14,1	14,2	14,3	14,0	14,2	14,4	14,24	0,11			

### PŘÍLOHA 3 – Vyhodnocená data pro ocelový plíšek při použití LOS 1100 a vody o teplotě 22 °C

	Ocelový plíšek - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	87,70	93,45	92,53	92,67	90,73	92,61	104,72	96,27	93,98	93,85	4,43	22	38,4047	
KÚ [R]	89,19	94,69	93,61	92,91	90,54	91,55	102,69	94,61	91,41	93,47	3,70			
KÚ [M]	88,44	94,07	93,07	92,79	90,63	92,08	103,71	95,44	92,70	93,66	4,02			
Vol [ul]	14,2	14,0	12,9	14,3	14,3	14,5	12,7	13,7	14,7	13,93	0,66			
	Ocelový plíšek po nanesení vosku- voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	88,35	88,62	89,95	88,91	87,65	87,20	89,30	90,12	86,20	88,48	1,21	22	38,4078	
KÚ [R]	87,03	85,62	90,07	88,63	89,04	89,01	89,31	89,50	88,77	88,55	1,30			
KÚ [M]	87,69	87,12	90,01	88,77	88,35	88,11	89,31	89,81	87,48	88,52	0,97			
Vol [ul]	14,4	14,0	14,1	14,3	14,5	14,1	13,4	13,9	13,7	14,05	0,31			
	Ocelový plíšek po 1. použití LOS 1100 - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	91,67	93,37	94,70	94,39	87,01	94,04	96,80	92,06	93,37	93,05	2,56	22	38,4049	94
KÚ [R]	92,46	92,39	85,73	90,78	88,05	92,01	93,29	92,45	91,35	90,94	2,33			
KÚ [M]	92,06	92,88	90,21	92,59	87,53	93,02	95,04	92,26	92,36	91,99	1,97			
Vol [ul]	15,6	15,4	21,5	15,7	15,5	14,1	15,7	16,0	16,6	16,24	1,96			
	Ocelový plíšek po 2. použití LOS 1100 - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	90,95	100,94	87,04	86,20	88,56	86,48	93,05	85,90	81,84	88,99	5,19	22	38,4047	100
KÚ [R]	90,81	98,82	85,87	84,35	89,16	91,99	91,41	88,14	90,72	90,14	3,92			
KÚ [M]	90,88	99,88	86,45	85,27	88,86	89,24	92,23	87,02	86,28	89,57	4,23			
Vol [ul]	13,6	12,6	15,1	16,5	16,3	16,1	14,4	14,6	19,0	15,36	1,78			

## PŘÍLOHA 4 – Vyhodnocená data pro ocelový plíšek při použití LOS 1100 a vody o teplotě 5 °C

	Ocelový plíšek - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	82,33	78,69	82,86	89,29	89,47	88,13	94,33	90,90	83,16	86,57	4,74	5	38,4047	
KÚ [R]	84,00	77,24	83,55	90,43	90,98	88,90	92,38	91,88	82,25	86,85	4,97			
KÚ [M]	83,16	77,97	83,21	89,86	90,23	88,52	93,35	91,39	82,71	86,71	4,82			
Vol [ul]	14,6	14,0	15,0	14,9	15,5	15,5	15,5	15,0	15,1	15,02	0,45			
	Ocelový plíšek po nanesení vosku - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	89,20	88,36	91,77	90,87	90,25	89,67	92,55	88,91	90,88	90,27	1,30	5	38,4088	
KÚ [R]	86,81	88,42	90,87	89,35	88,27	90,39	89,93	91,18	90,81	89,56	1,39			
KÚ [M]	88,00	88,39	91,32	90,11	89,26	90,03	91,24	90,04	90,84	89,92	1,11			
Vol [ul]	13,9	14,4	13,8	14,3	13,7	14,4	14,3	14,5	13,9	14,12	0,28			
	Ocelový plíšek po 1. použití LOS 1100 - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	89,91	94,45	92,68	89,52	91,86	92,61	96,62	101,84	98,53	94,23	3,85	5	38,4048	98
KÚ [R]	91,68	92,60	90,36	87,61	92,57	94,02	98,54	99,71	96,72	93,76	3,71			
KÚ [M]	90,79	93,52	91,52	88,57	92,21	93,32	97,58	100,78	97,63	93,99	3,68			
Vol [ul]	15,0	15,3	15,5	16,3	15,3	15,1	14,0	14,2	13,9	14,97	0,74			
	Ocelový plíšek po 2. použití LOS 1100 - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	93,25	88,25	89,57	89,70	79,02	94,38	95,33	95,55	90,53	90,62	4,83	5	38,4047	100
KÚ [R]	91,46	89,04	89,82	90,68	82,95	94,54	95,31	95,43	93,29	91,39	3,73			
KÚ [M]	92,36	88,64	89,70	90,19	80,98	94,46	95,32	95,49	91,91	91,01	4,24			
Vol [ul]	15,3	16,0	15,6	14,7	14,6	14,0	15,6	14,7	15,0	15,05	0,58			

## PŘÍLOHA 5 – Vyhodnocená data pro hliníkový plíšek při použití LOS 1100 a vody o teplotě 22 °C

	Hliníkový plíšek - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	66,80	84,20	68,44	74,40	64,93	36,81	73,30	71,94	63,58	70,95	6,20	22	12,6396	
KÚ [R]	68,72	83,54	64,14	77,34	64,30	36,87	72,42	70,75	62,49	70,46	6,77			
KÚ [M]	67,76	83,87	66,29	75,87	64,62	36,84	72,86	71,34	63,04	70,71	6,41			
Vol [ul]	16,5	16,9	16,8	17,8	17,2	16,6	16,3	15,4	17,1	16,73	0,65			
	Hliníkový plíšek po nanesení vosku - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	80,34	81,28	85,57	84,94	83,14	85,18	81,62	84,74	84,34	83,46	1,83	22	12,6458	
KÚ [R]	75,85	81,12	83,38	85,06	83,68	82,94	81,64	84,88	83,84	82,49	2,65			
KÚ [M]	78,10	81,20	84,47	85,00	83,41	84,06	81,63	84,81	84,09	82,97	2,14			
Vol [ul]	17,0	18,2	18,7	17,2	15,9	17,3	17,0	16,3	16,4	17,12	0,86			
	Hliníkový plíšek po 1. použití LOS 1100 - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	81,20	97,06	62,93	66,09	93,96	93,97	92,82	95,31	89,50	85,87	12,23	22	12,6398	97
KÚ [R]	82,06	97,93	62,80	69,53	90,36	91,85	93,16	95,27	92,25	86,14	11,53			
KÚ [M]	81,63	97,50	62,86	67,81	92,16	92,91	92,99	95,29	90,87	86,00	11,84			
Vol [ul]	19,9	16,2	15,4	18,1	15,9	16,9	16,4	15,7	16,5	16,77	1,32			
	Hliníkový plíšek po 2. použití LOS 1100 - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	78,42	83,67	87,64	81,50	85,75	72,87	70,34	79,30	81,82	80,14	5,35	22	12,6396	100
KÚ [R]	79,80	83,02	86,03	77,96	86,48	73,56	68,30	70,76	81,92	78,65	6,17			
KÚ [M]	79,11	83,35	86,83	79,73	86,12	73,21	69,32	75,03	81,87	79,40	5,59			
Vol [ul]	17,0	16,6	16,4	17,4	15,2	17,1	16,9	18,1	15,7	16,72	0,83			

## PŘÍLOHA 6 – Vyhodnocená data pro hliníkový plíšek při použití LOS 1100 a vody o teplotě 5 °C

	Hliníkový plíšek - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	70,46	71,22	72,14	75,38	72,61	65,53	71,85	74,76	67,79	71,31	2,94	5	12,6396	
KÚ [R]	72,23	69,92	72,48	76,27	73,42	66,79	76,10	74,49	67,57	72,14	3,24			
KÚ [M]	71,35	70,57	72,31	75,83	73,02	66,16	73,97	74,63	67,68	71,72	3,00			
Vol [ul]	16,6	16,2	16,3	17,2	17,6	16,5	19,2	16,6	16,0	16,90	0,94			
	Hliníkový plíšek po nanesení vosku - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	86,91	87,09	87,28	82,59	87,69	87,80	88,15	86,06	84,96	86,50	1,66	5	12,6444	
KÚ [R]	86,80	86,71	88,70	83,67	87,69	86,78	87,61	85,74	84,96	86,52	1,44			
KÚ [M]	86,85	86,90	87,99	83,13	87,69	87,29	87,88	85,90	84,96	86,51	1,51			
Vol [ul]	16,1	16,2	16,2	16,6	16,4	16,8	16,4	16,8	16,6	16,46	0,24			
	Hliníkový plíšek po 1. použití LOS 1100 - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	85,33	82,95	87,22	89,95	84,40	82,81	86,26	94,86	90,90	87,19	3,80	5	12,6398	96
KÚ [R]	85,88	82,26	82,97	87,76	84,80	80,34	83,42	93,01	89,05	85,50	3,69			
KÚ [M]	85,60	82,61	85,10	88,86	84,60	81,57	84,84	93,94	89,98	86,34	3,67			
Vol [ul]	16,4	16,8	16,8	15,2	15,6	16,7	17,4	15,3	16,4	16,30	0,71			
	Hliníkový plíšek po 2. použití LOS 1100 - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	84,71	83,27	84,27	83,58	85,11	79,94	73,73	72,43	75,60	80,29	4,78	5	12,6396	100
KÚ [R]	85,77	82,09	85,38	85,60	83,25	78,33	74,84	75,35	79,87	81,16	4,05			
KÚ [M]	85,24	82,68	84,83	84,59	84,18	79,13	74,28	73,89	77,73	80,73	4,32			
Vol [ul]	16,3	16,5	16,7	14,9	15,0	15,1	14,5	16,4	18,3	15,95	1,14			

## PŘÍLOHA 7 – Vyhodnocená data pro nerezový plíšek při použití roztoku jaru a vody o teplotě 22 °C

	Nerezový plíšek - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]		
KÚ [L]	73,30	72,02	82,31	85,16	85,00	91,24	88,19	90,94	89,04	84,13	6,72	22	50,2542		
KÚ [R]	74,03	72,76	82,19	85,01	85,24	90,97	89,03	90,59	90,70	84,50	6,59				
KÚ [M]	73,67	72,39	82,25	85,09	85,12	91,11	88,61	90,76	89,87	84,32	6,65				
Vol [ul]	19,4	19,6	18,0	16,8	16,2	16,8	16,9	16,6	16,6	17,43	1,20				
	Nerezový plíšek po nanesení vosku - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]		
KÚ [L]	85,44	88,45	87,94	88,03	87,49	85,78	85,79	87,87	87,78	87,17	1,09	22	50,2613		
KÚ [R]	87,92	88,79	88,08	88,31	86,33	86,49	86,53	87,20	87,89	87,50	0,85				
KÚ [M]	86,68	88,62	88,01	88,17	86,91	86,13	86,16	87,53	87,84	87,34	0,85				
Vol [ul]	17,4	16,4	17,0	16,4	16,0	16,5	16,2	16,5	16,3	16,51	0,39				
	Nerezový plíšek po 1. použití roztoku jaru - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]	
KÚ [L]	85,29	86,47	83,83	84,48	84,45	85,50	84,43	85,85	86,70	85,22	0,94	22	50,2552	86	
KÚ [R]	84,52	86,46	83,54	84,62	85,00	84,67	84,77	85,64	87,65	85,21	1,15				
KÚ [M]	84,91	86,46	83,68	84,55	84,73	85,09	84,60	85,75	87,18	85,21	1,01				
Vol [ul]	17,0	16,8	16,2	16,8	16,7	16,1	17,3	17,2	17,0	16,79	0,37				
	Nerezový plíšek po 2. použití roztoku jaru - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]	
KÚ [L]	84,37	85,77	84,14	82,65	84,35	85,21	86,62	86,88	86,31	85,14	1,31	22	50,2547	93	
KÚ [R]	84,80	84,96	83,51	81,51	84,12	86,35	87,49	86,35	85,41	84,94	1,67				
KÚ [M]	84,58	85,36	83,82	82,08	84,24	85,78	87,06	86,61	85,86	85,04	1,45				
Vol [ul]	17,3	16,2	16,4	16,7	16,5	16,6	16,0	16,8	16,6	16,56	0,36				
	Nerezový plíšek po 3. použití roztoku jaru - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]	
KÚ [L]	83,56	80,84	83,37	81,74	85,00	83,21	85,25	85,30	86,34	83,84	1,69	22	50,2543	99	
KÚ [R]	82,53	82,47	83,65	84,07	83,81	83,75	83,71	86,25	85,26	83,94	1,12				
KÚ [M]	83,05	81,66	83,51	82,90	84,40	83,48	84,48	85,77	85,80	83,89	1,28				
Vol [ul]	16,6	16,6	17,1	16,8	17,0	16,5	16,8	16,3	16,1	16,65	0,32				

## PŘÍLOHA 8 – Vyhodnocená data pro nerezový plíšek při použití roztoku jaru a vody o teplotě 5 °C

	Nerezový plíšek - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	89,75	86,81	87,02	86,15	86,96	86,16	89,81	88,64	89,67	87,89	1,48	5	50,2542	
KÚ [R]	90,19	87,17	86,34	87,00	87,61	85,70	90,23	89,83	89,60	88,18	1,67			
KÚ [M]	89,97	86,99	86,68	86,58	87,28	85,93	90,02	89,23	89,63	88,03	1,55			
Vol [ul]	16,2	16,6	16,7	16,8	16,8	16,8	16,5	16,8	16,4	16,63	0,21			
	Nerezový plíšek po nanesení vosku - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	88,17	88,08	88,63	88,70	86,81	87,61	87,99	87,51	87,27	87,86	0,59	5	50,2601	
KÚ [R]	90,49	88,89	88,54	88,35	86,14	88,13	88,34	87,58	87,41	88,21	1,11			
KÚ [M]	89,33	88,48	88,58	88,52	86,47	87,87	88,16	87,54	87,34	88,03	0,79			
Vol [ul]	16,4	16,1	16,6	16,4	16,3	16,4	16,8	16,7	16,8	16,50	0,23			
	Nerezový plíšek po 1. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	85,19	84,81	84,49	85,34	87,10	86,78	86,53	85,31	83,17	85,41	1,17	5	50,2546	93
KÚ [R]	85,12	84,89	84,92	85,93	86,58	86,77	86,49	84,72	83,66	85,45	0,99			
KÚ [M]	85,15	84,85	84,70	85,64	86,84	86,78	86,51	85,02	83,41	85,43	1,06			
Vol [ul]	16,8	16,8	16,7	16,5	16,5	16,4	16,3	16,9	16,4	16,59	0,21			
	Nerezový plíšek po 2. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	85,94	86,28	85,80	83,69	83,49	83,56	87,16	85,63	85,75	85,25	1,26	5	50,2544	97
KÚ [R]	85,89	86,28	86,58	84,44	82,86	82,84	86,04	86,56	86,53	85,33	1,46			
KÚ [M]	85,92	86,28	86,19	84,07	83,17	83,20	86,60	86,09	86,14	85,29	1,32			
Vol [ul]	16,3	16,2	16,3	16,5	16,6	16,5	16,4	16,6	16,4	16,43	0,14			
	Nerezový plíšek po 3. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	84,81	85,02	85,63	85,78	85,18	83,93	84,56	86,12	85,67	85,19	0,65	5	50,2543	99
KÚ [R]	84,23	85,44	84,98	85,78	85,49	83,35	87,53	86,71	86,44	85,55	1,20			
KÚ [M]	84,52	85,23	85,30	85,78	85,34	83,64	86,05	86,42	86,05	85,37	0,81			
Vol [ul]	16,5	16,5	16,2	16,3	16,4	16,4	16,5	16,5	16,6	16,43	0,11			



## PŘÍLOHA 9 – Vyhodnocená data pro ocelový plíšek při použití roztoku jaru a vody o teplotě 22 °C

	Ocelový plíšek - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	80,86	83,41	89,74	83,41	78,82	82,56	77,03	83,97	84,16	82,66	3,41	22	38,4047	
KÚ [R]	83,76	85,26	94,68	84,05	78,85	81,81	76,86	86,09	84,89	84,03	4,75			
KÚ [M]	82,31	84,33	92,21	83,73	78,83	82,19	76,95	85,03	84,52	83,35	4,05			
Vol [ul]	18,8	17,7	16,2	16,8	17,7	18,8	17,5	19,0	18,4	17,89	0,91			
	Ocelový plíšek po nanesení vosku - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	87,81	86,42	86,05	86,61	87,60	85,61	86,27	85,07	86,46	86,43	0,82	22	38,4088	
KÚ [R]	88,75	86,79	84,77	87,33	86,38	86,87	86,77	87,25	86,59	86,83	0,98			
KÚ [M]	88,28	86,61	85,41	86,97	86,99	86,24	86,52	86,16	86,52	86,63	0,73			
Vol [ul]	16,5	16,8	16,3	16,6	16,6	16,4	16,2	16,1	16,2	16,42	0,22			
	Ocelový plíšek po 1. použití roztoku jaru - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	85,66	84,89	87,27	86,01	81,61	86,15	83,91	83,16	84,64	84,81	1,63	22	38,4062	63
KÚ [R]	87,24	85,81	85,49	84,77	83,69	87,53	86,05	84,42	84,06	85,45	1,27			
KÚ [M]	86,45	85,35	86,38	85,39	82,65	86,84	84,98	83,79	84,35	85,13	1,29			
Vol [ul]	16,3	16,6	17,2	17,2	17,2	16,4	16,3	16,4	17,0	16,75	0,37			
	Ocelový plíšek po 2. použití roztoku jaru - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	82,14	87,55	84,47	85,99	85,03	87,14	84,56	85,92	82,21	85,00	1,81	22	38,4054	83
KÚ [R]	82,65	86,44	82,65	85,72	83,73	87,41	86,01	87,06	82,54	84,91	1,89			
KÚ [M]	82,39	86,99	83,56	85,85	84,38	87,27	85,29	86,49	82,37	84,96	1,77			
Vol [ul]	17,3	17,6	17,7	16,3	16,9	16,4	16,7	16,7	16,9	16,94	0,46			
	Ocelový plíšek po 3. použití roztoku jaru - voda 22 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	83,72	84,39	86,46	86,73	82,73	83,81	84,77	85,92	88,10	85,18	1,63	22	38,4048	99
KÚ [R]	83,72	85,25	86,71	86,84	84,73	84,93	84,11	85,83	89,45	85,73	1,65			
KÚ [M]	83,72	84,82	86,59	86,79	83,73	84,37	84,44	85,87	88,78	85,46	1,59			
Vol [ul]	16,8	17,4	16,8	17,3	17,1	16,3	16,5	16,0	14,8	16,56	0,76			

## PŘÍLOHA 10 – Vyhodnocená data pro ocelový plíšek při použití roztoku jaru a vody o teplotě 5 °C

	Ocelový plíšek - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	93,18	90,23	84,19	86,71	93,90	92,28	93,98	92,07	91,39	90,88	3,17	5	38,4047	
KÚ [R]	92,99	87,00	83,26	85,46	89,38	89,51	94,87	90,71	91,52	89,41	3,47			
KÚ [M]	93,09	88,61	83,72	86,08	91,64	90,90	94,42	91,39	91,46	90,15	3,22			
Vol [ul]	17,2	17,7	18,2	17,3	16,1	15,1	16,8	16,3	16,9	16,84	0,88			
	Ocelový plíšek po nanesení vosku - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	87,91	88,78	87,59	86,12	89,42	86,13	85,13	86,32	87,58	87,22	1,32	5	38,4095	
KÚ [R]	89,47	84,90	88,78	86,36	88,93	89,99	85,60	85,18	87,52	87,41	1,85			
KÚ [M]	88,69	86,84	88,18	86,24	89,17	88,06	85,36	85,75	87,55	87,32	1,26			
Vol [ul]	15,9	17,5	15,6	15,8	16,7	16,8	15,8	16,4	16,5	16,33	0,58			
	Ocelový plíšek po 1. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	86,12	83,48	83,06	81,45	84,19	87,70	85,57	83,02	85,67	84,47	1,83	5	38,4055	83
KÚ [R]	87,28	83,58	83,91	81,79	83,78	88,57	85,75	83,38	85,92	84,88	2,02			
KÚ [M]	86,70	83,53	83,48	81,62	83,98	88,13	85,66	83,20	85,79	84,68	1,91			
Vol [ul]	16,9	17,1	16,7	16,9	16,5	16,0	17,2	17,4	16,6	16,81	0,40			
	Ocelový plíšek po 2. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	84,79	84,00	80,34	84,67	83,72	84,83	89,24	84,20	83,63	84,38	2,15	5	38,4051	92
KÚ [R]	83,71	82,27	80,17	85,79	83,03	85,73	87,24	84,11	84,90	84,11	2,00			
KÚ [M]	84,25	83,13	80,25	85,23	83,38	85,28	88,24	84,15	84,26	84,24	2,00			
Vol [ul]	16,8	17,2	17,3	16,8	16,6	16,3	16,3	16,9	17,3	16,84	0,36			
	Ocelový plíšek po 3. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	83,89	81,99	83,79	80,36	85,12	79,75	81,69	84,12	83,98	82,74	1,76	5	38,4048	99
KÚ [R]	84,43	82,49	83,88	82,40	84,47	79,56	81,63	83,25	84,37	82,94	1,54			
KÚ [M]	84,16	82,24	83,83	81,38	84,80	79,65	81,66	83,68	84,18	82,84	1,60			
Vol [ul]	17,5	17,3	17,0	17,2	15,7	16,8	17,1	17,2	16,3	16,91	0,54			

## PŘÍLOHA 11 – Vyhodnocená data pro hliníkový plíšek při použití roztoku jaru a vody o teplotě 22 °C

	Hliníkový plíšek - voda 22 °C										Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	55,92	66,14	58,94	70,65	67,22	68,47	65,36	68,12	64,50	65,03	4,46	22	12,6395		
KÚ [R]	55,66	63,32	59,08	71,22	66,18	67,04	64,34	68,88	65,11	64,53	4,51				
KÚ [M]	55,79	64,73	59,01	70,93	66,70	67,76	64,85	68,50	64,80	64,78	4,45				
Vol [ul]	16,1	15,9	15,4	15,4	16,5	16,3	15,6	15,7	15,7	15,83	0,36				
	Hliníkový plíšek po nanesení vosku - voda 22 °C										Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	84,88	85,51	88,86	84,89	86,82	85,57	84,65	86,99	85,16	85,92	1,30	22	12,6447		
KÚ [R]	87,21	85,73	88,28	87,22	87,37	85,97	85,56	87,37	85,48	86,69	0,95				
KÚ [M]	86,04	85,62	88,57	86,05	87,09	85,77	85,10	87,18	85,32	86,30	1,04				
Vol [ul]	17,2	16,5	16,0	16,5	16,0	15,7	15,6	16,8	16,0	16,26	0,48				
	Hliníkový plíšek po 1. použití roztoku jaru - voda 22 °C										Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	74,98	75,63	75,58	79,03	76,64	78,37	80,52	77,52	76,00	77,14	1,75	22	12,6403	85	
KÚ [R]	75,16	77,11	76,47	79,86	76,58	76,50	79,47	78,66	74,39	77,13	1,76				
KÚ [M]	75,07	76,37	76,02	79,45	76,61	77,44	80,00	78,09	75,19	77,14	1,66				
Vol [ul]	18,0	17,1	16,3	15,5	16,4	16,3	16,7	16,2	16,7	16,57	0,63				
	Hliníkový plíšek po 2. použití roztoku jaru - voda 22 °C										Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	76,91	76,17	79,06	76,80	75,27	75,07	78,47	77,27	78,27	77,03	1,31	22	12,6398	94	
KÚ [R]	76,37	75,84	78,17	75,15	76,82	77,94	78,37	76,93	78,87	77,16	1,18				
KÚ [M]	76,64	76,01	78,62	75,97	76,05	76,51	78,42	77,10	78,57	77,10	1,07				
Vol [ul]	15,7	15,8	15,8	16,0	16,8	16,5	16,7	16,0	15,7	16,11	0,40				
	Hliníkový plíšek po 3. použití roztoku jaru - voda 22 °C										Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	74,59	76,03	76,89	74,79	78,37	76,84	79,20	75,26	77,18	76,57	1,48	22	12,6396	99	
KÚ [R]	75,20	75,43	76,01	76,42	78,66	77,47	78,47	72,25	78,23	76,46	1,93				
KÚ [M]	74,89	75,73	76,45	75,61	78,52	77,15	78,83	73,75	77,71	76,51	1,60				
Vol [ul]	16,4	15,7	15,8	15,9	15,6	15,2	16,0	16,0	15,3	15,77	0,36				

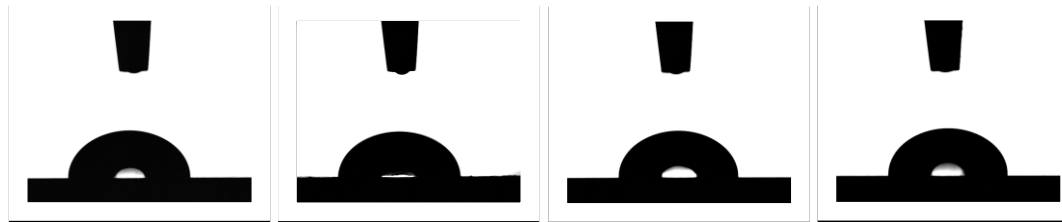
## PŘÍLOHA 12 – Vyhodnocená data pro hliníkový plíšek při použití roztoku jaru a vody o teplotě 5 °C

	Hliníkový plíšek - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	72,77	78,19	77,28	86,88	86,90	81,71	80,15	81,22	75,48	80,06	4,51	5	12,6395	
KÚ [R]	72,88	79,80	74,58	86,53	85,67	81,46	78,72	83,88	71,77	79,48	5,15			
KÚ [M]	72,83	79,00	75,93	86,70	86,29	81,59	79,43	82,55	73,62	79,77	4,75			
Vol [ul]	14,0	15,9	16,9	16,3	16,8	16,5	15,1	16,2	16,8	16,04	0,88			
	Hliníkový plíšek po nanesení vosku - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	
KÚ [L]	85,45	84,43	86,59	84,62	85,76	82,49	87,87	86,09	85,67	85,44	1,42	5	12,6436	
KÚ [R]	86,12	84,82	88,07	84,70	85,90	80,79	86,87	85,54	86,02	85,42	1,90			
KÚ [M]	85,79	84,62	87,33	84,66	85,83	81,64	87,37	85,82	85,85	85,43	1,62			
Vol [ul]	15,8	15,8	16,5	16,0	15,7	17,5	16,6	15,6	15,8	16,15	0,58			
	Hliníkový plíšek po 1. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	77,43	76,16	79,69	81,84	79,57	74,04	76,29	78,68	78,49	78,02	2,19	5	12,6402	83
KÚ [R]	77,00	76,17	79,81	80,99	77,43	74,82	79,74	77,61	79,60	78,13	1,90			
KÚ [M]	77,22	76,16	79,75	81,42	78,50	74,43	78,02	78,14	79,04	78,07	1,91			
Vol [ul]	16,6	16,3	16,1	15,2	14,8	16,4	14,6	16,8	16,8	15,95	0,80			
	Hliníkový plíšek po 2. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	75,21	74,51	75,76	77,99	77,54	77,00	77,59	79,98	79,02	77,18	1,67	5	12,6399	90
KÚ [R]	75,27	73,35	75,27	78,59	79,35	77,09	77,73	81,29	80,11	77,56	2,43			
KÚ [M]	75,24	73,93	75,52	78,29	78,45	77,05	77,66	80,63	79,56	77,37	2,04			
Vol [ul]	16,1	16,9	16,5	16,4	16,5	17,3	16,6	16,6	16,6	16,61	0,30			
	Hliníkový plíšek po 3. použití roztoku jaru - voda 5 °C									Ø [°], [ul]	s [°], [ul]	T [°C]	m [g]	η [%]
KÚ [L]	73,09	75,25	76,47	81,25	78,75	78,85	79,70	74,83	76,90	77,23	2,46	5	12,6396	99
KÚ [R]	72,64	75,14	76,46	80,40	78,26	79,31	79,20	77,06	77,84	77,37	2,25			
KÚ [M]	72,86	75,20	76,46	80,82	78,51	79,08	79,45	75,94	77,37	77,30	2,32			
Vol [ul]	16,3	16,3	15,8	16,0	15,9	15,6	15,8	16,8	15,7	16,01	0,35			

### PŘÍLOHA 13 – Snímky průměrných úhlů smáčení v průběhu experimentu s nerezovým plíškem

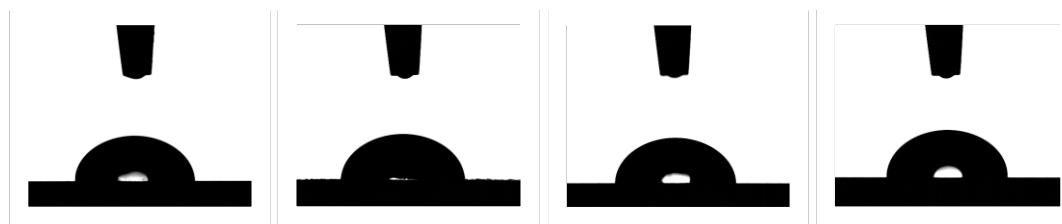
- Přípravek LOS 1100

- teplota vody 22 °C



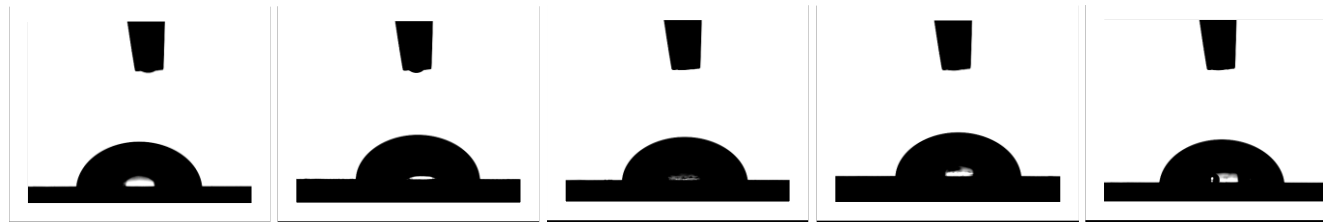
- Přípravek LOS 1100

- teplota vody 5 °C



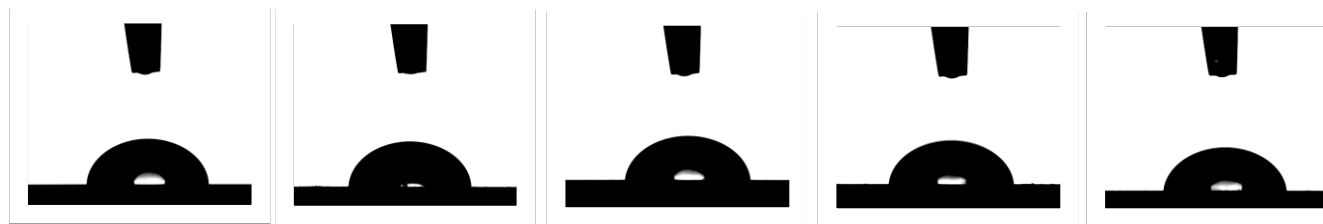
- Roztok jaru

- teplota vody 22 °C



- Roztok jaru

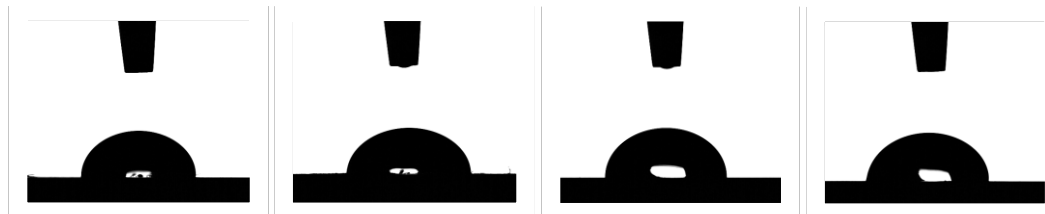
- teplota vody 5 °C



## PŘÍLOHA 14 – Snímky průměrných úhlů smáčení v průběhu experimentu s ocelovým plíškem

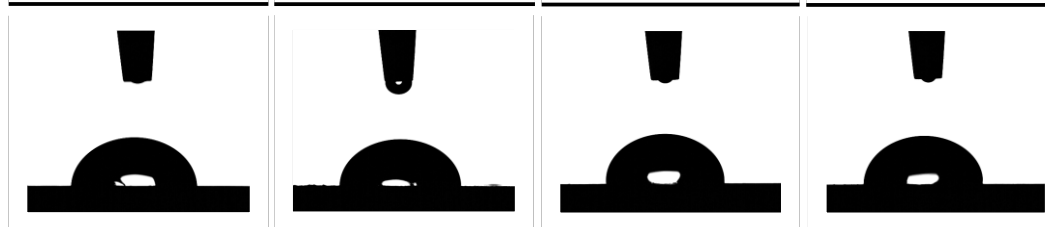
- Přípravek LOS 1100

- teplota vody 22 °C



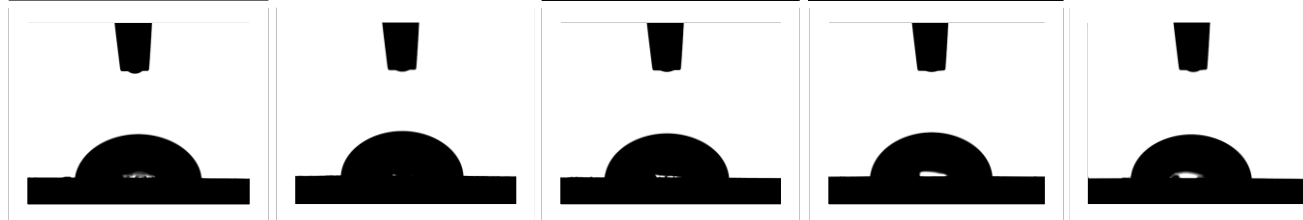
- Přípravek LOS 1100

- teplota vody 5 °C



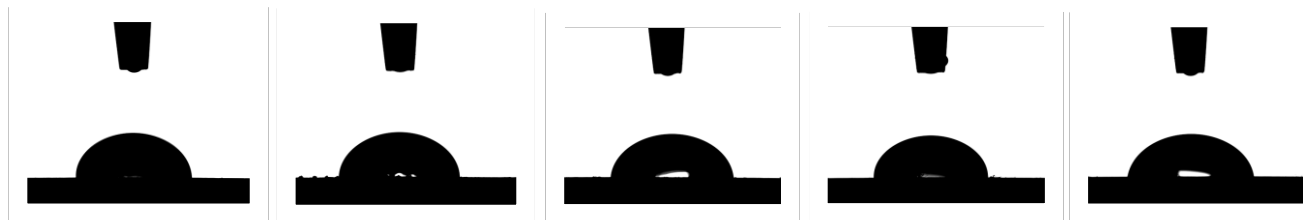
- Roztok jaru

- teplota vody 22 °C



- Roztok jaru

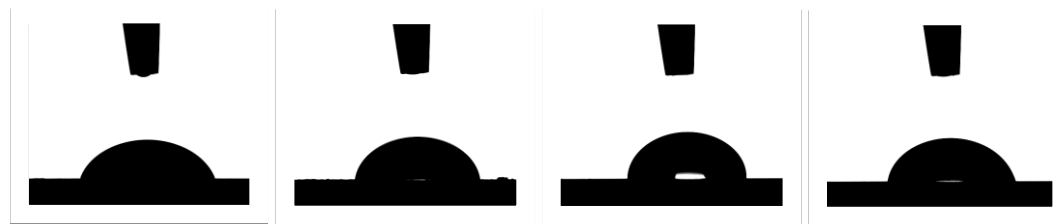
- teplota vody 5 °C



## PŘÍLOHA 15 – Snímky průměrných úhlů smáčení v průběhu experimentu s hliníkovým plíškem

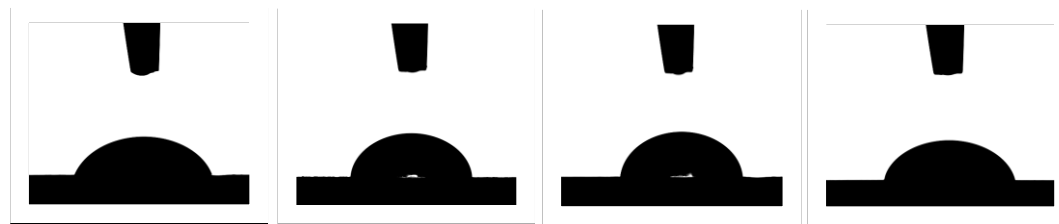
- Přípravek LOS 1100

- teplota vody 22 °C



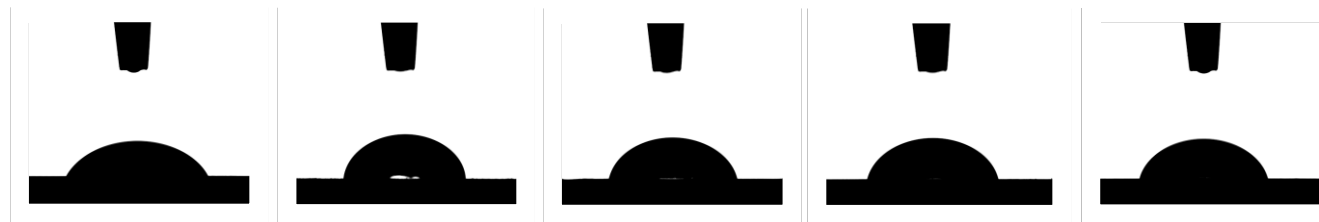
- Přípravek LOS 1100

- teplota vody 5 °C



- Roztok jaru

- teplota vody 22 °C



- Roztok jaru

- teplota vody 5 °C

